

І. В. Гуменюк
О. Ф. Іваськів
О. В. Гуменюк



ЛТО

ПРОФЕСІЙНО-
ТЕХНІЧНА
ОСВІТА

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

ПІДРУЧНИК



І. В. Гуменюк, О. Ф. Івасюків, О. В. Гуменюк

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Підручник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як підручник для учнів професійно-технічних навчальних закладів*

Київ
Грамота
2006

УДК 621.791(075)
ББК 34.641:722
Г94

Рекомендовано Міністерством освіти (науки) України
(лист № 1/13-2691 від 05.06.2006)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Рецензенти:

*В. М. Мартин, д-р техн. наук, проф., академік НАН України;
А. В. Кашук, канд. техн. наук, доцент*

Гуменюк І. В.

Г94 Технологія електродугового зварювання: Підручник / І. В. Гуменюк, О. В. Пасяків, О. В. Гуменюк. – К.: Гриньта, 2006. – 512 с. –
Бібліогр. 499 с.; іл.
ISBN 966-349-010-1

У підручнику описані технології ручного дугового й механізованого електрозварювання. Наведено дані про матеріали, обладнання, інструменти, режими та прийоми виконання електродугових робіт. Розглянуті технологічні процеси зварювання різних металів і сплавів, особливості техніки дугового зварювання. Додаткові таблиці дають можливість конкретно вибрати режими, матеріали та обладнання для електричного зварювання та різання металів, сплавів, пластмас.

Матеріал підручника являється програмою професійно-технічної та професійно-практичної підготовки учнів за професією «Електрозварювальник».

Розроблений на учнів ПТУ (коледжів, вишчих навчальних закладів), а також для курсової підготовки а професії «Електродуговарювальник».

ББК 34.641:722

ISBN 966-349-010-1

© І. В. Гуменюк, О. В. Пасяків,
О. В. Гуменюк, 2006.
© Гриньта, 2006.

ПЕРЕДМОВА

Зварювання є одним із основних технологічних процесів виготовлення та ремонту виробів у різних галузях промисловості, будівництва й транспорту. Без зварювання неможливе виробництво автомобілів, кораблів, літаків, мостів, котлів, турбін, реакторів та інших конструкцій. Зварювання дозволило створити принципово нові конструкції машин, внести корисні зміни в конструкцію й технологію виробництва. Порівняно з іншими способами виготовлення конструкцій зварювання є легшим та дешевшим. При цьому економія металу становить від 10 до 50%. За допомогою зварювання одержують нероз'ємні з'єднання майже всіх металів і сплавів різної товщини – від сотих часток міліметра до декількох метрів. Поряд з традиційними конструкційними сталями зварюють спеціальні сталі та сплави на основі титану, цирконію, молибдену, ніобію й інших матеріалів, а також різномірні матеріали.

Суттєво розширились умови проведення зварювальних робіт. Електричне зварювання виконують в умовах високих температур, радіації, в глибокому вакуумі, під водою, в умовах невагомості. Швидкими темпами освоюються нові види зварювання: електронно-променевого, світлового, дифузійного, ультразвукового, електромагнітного, лазерного та ін. Розширились можливості дугового й контактного зварювання.

Для підвищення якості продукції та продуктивності праці у зварювальній виробничтві слід широко впроваджувати останні досягнення науки й техніки.

Розроблені й серійно випускаються нові конструкції джерел живлення дуги, обладнання для механізованих способів зварювання, складально-зварні пристосування.

Досягнення в галузі механізації та автоматизації зварювальних процесів, використання останніх досягнень зварювальної технології й техніки зумовило корисні зміни в технології виготовлення кораблів, пресів, прокатних станів, котлів, нафтової апаратури, труб та інших зварних конструкцій.

При відновленні спрацьованих деталей машин і механізмів, а також при виготовленні нових деталей із зносостійкою поверхнею широко використовуються різні механізовані способи наплавлення.

Запровадження нових способів зварювання, в т. ч. у середовищі захисних газів, під флюсом, електрошлакового тощо, дозволяють вирішити проблему широкого використання в промисловості зварних виробів із деталями і складаними елементами із спеціальних сталей, кольорових металів та їх сплавів.

Промисловість України випускає значну кількість різних марок електродів для дугового зварювання конструкцій із вуглецевих, легированих, жароміцних, тепло-, корозіє-, жаростійких та інших сталей. Випускаються також електроди для відновлювального автозварювального наплавлення різних сталей, для зварювання і наплавлення чавуну й кольорових металів.

Головною вимогою до зварювання є висока якість з'єднань, тобто досягнення необхідних механічних властивостей шва і зварюваного з'єднання при відсутності в них дефектів. Одержання необхідних механічних властивостей і запобігання виникненню дефектів забезпечується правильним вибором технології зварювання, що в свою чергу залежить від підготовки деталей до зварювання, хімічного складу та якості матеріалів, справності обладнання, а також кваліфікації зварника.

Розвиток зварювального виробництва, впровадження прогресивних способів зварювання підвищують вимоги щодо рівня підготовки зварників. Підвищення теоретичних знань і практичних навичок у роботі, засвоєння нових методів і прийомів зварювання робітниками при сучасному рівні виробництва є одним із основних завдань освоєння й впровадження у виробництво досягнень науки і техніки в галузі зварювання.

Особливо великий вклад у розвиток вітчизняної зварювальної науки і техніки, а також у розробку зварювального обладнання та матеріалів вніс Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона.

З 90-х років XX ст. учасі проводять дослідження щодо зварювання живих біологічних тканин, створення зварювальних роботів, досліджують проблеми коагуляції, розробляють вимоги щодо спеціальних інструментів і приладів.

Дані щодо зварювання пов'язані з досягненнями науки та практики в галузях хімії, фізики, електротехніки, матеріалознавства тощо.

Мета даного підручника – допомогти учням у вивченні теоретичних основ зварювального виробництва, які в поєднанні з професійно-практичною підготовкою дозволять їм стати кваліфікованими зварниками.

Створення підручника з електродугового зварювання звичайно не може бути без недоліків. Авторі будуть щиро вдячні за конструктивні критичні зауваження й побажання щодо вдосконалення підручника.

РОЗВИТОК ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ

Зварювання – це один із найпоширеніших технологічних процесів з'єднання матеріалів. Використання зварювання у всіх галузях народного господарства дозволяє виготовляти високотехнологічні конструкції, забезпечує короткий термін їх виготовлення й ремонту при значній економії часу та металу.

Історія електричного зварювання бере свій початок в XIX ст. У 1802 р. російський вчений В. В. Петров відкрив явище електричної дуги і вказав на можливість її використання для розплавлення металів. Але тільки в 1882 р. російський інженер Н. П. Бенардос відкрив спосіб електродугового зварювання неплавким вугільним електродом і запропонував конструкції простих зварювальних автоматів.

У 1888 р. російський інженер Н. Г. Слав'янов запропонував виконувати зварювання плавким металевим електродом. Він першим у світі виготовив зварювальний генератор, створив автоматичний регулятор довжини дуги і розробив металургійні основи зварювання. Широке промислове застосування і розвиток зварювання почалися в 30-ті роки XX ст. З'явилися нові види зварювання: електрошлакове, під шаром флюсу, у вуглекислому газі, електроно-променеле, підводне.

У 1924–1935 рр. використовувалися електроди без покриття або з тонким іонізуючим покриттям. З 1935–1939 рр. почали широко використовувати зварювання на базі електродів з товстим покриттям і стрижків із легированих сталей.

У 1939 р. під керівництвом академіка АН УРСР Євгена Оскаровича Патона (1870–1953) були запроваджені автоматичне та напів-автоматичне зварювання під шаром флюсу. З 1948 р. промислове застосування отримав спосіб дугового зварювання в інертних захисних газах.

На початку 50-х років XX ст. під керівництвом академіка Бориса Євгеновича Патона в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона було розроблене електрошлакове зварювання.

У 1950–1952 рр. впроваджене зварювання сталей у середовищі вуглекислого газу.

Для з'єднання хімічно активних і тугоплавких металів наприкінці 50-х років XX ст. французькими вченими створено електронно-променеве зварювання.

Розвиток зварювального виробництва значною мірою залежить від обсягів випуску сталі й прокату. У 2002 р. Україна виготувала 33,5 млн т сталі і 25,58 млн т прокату. Загальний об'єм виробництва електродів дорівнював 44 276 т, із них з рутиль-альмінатовим покриттям – 36 399, із основним – 7 311 і спеціальних електродів – 506 т. Було виготовлено 790 т порошкового проту, 278 зварювального і 512 для виплавлення, а також 19 334 т флюсів. Експорт українських зварювальних матеріалів становив 1 780 т.

Сучасний етап зварювального виробництва України характеризується наявністю значних потужностей з випуску аварних конструкцій, зварювальних матеріалів й обладнання.

У третьому тисячолітті зварювання – один з провідних технологічних процесів. До 2/3 світового споживання сталевих прокатів йде на виробництво аварних конструкцій. Практично зварюють майже всі метали на землі, в морських глибинах і в космосі. Маса зварюваних конструкцій становить від частини грама до сотень і тисяч тонн.

Більше половини валового національного продукту промислово розвинутих країн створюється за допомогою зварювання і споріднених технологій, до яких відносять наплавлення, паяння, різання, нанесення покриття, склеювання різних матеріалів. Науково-технічне поняття «зварювання» охоплює такі суміжні напрями, як заготовка й складання, діагностика та неруйнівний контроль, техніка безпеки й екологія зварювальних процесів.

1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЗВАРЮВАННЯ

Зварювання – це процес одержання нероз'ємного з'єднання шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх місцевому або загальному нагріванні, пластичною деформацією або їх спільною дією.

Залежно від виду енергії зварювання поділяють на три класи: термічний, термомеханічний та механічний.

До **термічного класу** належать види зварювання за допомогою плавлення, в яких для розплавлення металу використовують теплову енергію:

– **дугове зварювання** – нагрівання здійснюється електричною дугою;

– **плазмове зварювання** – нагрівання здійснюється стиснутою дугою;

– **газове зварювання** – нагрівання здійснюється полум'ям газів;

– **електрошлакове зварювання** – для нагрівання використовують тепло, яке виділяється при проходженні електричного струму через розплавлений електропровідний шлак;

– **електронно-променеве зварювання** – для нагрівання використовують тепло електричного променя, яке виділяється за рахунок бомбардування зони зварювання направленим потоком електронів.

– **лазерне зварювання** – розплавлення здійснюється енергією світлового променя, одержаного від оптичного квантового генератора;

– **термітне зварювання** – використовується тепло, утворене в результаті спалювання термітного порошку, який складається з суміші алюмінію та оксиду заліза.

До **термомеханічного класу** належать види зварювання, в яких використовується теплова енергія й тиск:

– **контактне зварювання** – із використанням тиску та нагрівання при проходженні електричного струму через контактні поверхні;

– **дифузійне зварювання** проходить через взаємну дифузію атомів контактних поверхонь при тривалому впливі підвищеної температури і незначній пластичній деформації;

– **пресове зварювання** – нагрівання здійснюється полум'ям газів (газопресове зварювання), дугою (дугопресове зварювання), електрошлаковим процесом (шлакопресове зварювання), індукційним нагріванням (індукційно-пресове зварювання), термітом (термітно-пресове зварювання).

До **механічного класу** належать зварювання, яке виконується з використанням механічної енергії й тиску:

– **ультразвукове зварювання** – тиск створюється ультразвуковими коливаннями;

– **холодне зварювання** – використовується тиск при значній пластичній деформації без нагрівання;

– **зварювання вибухом** відбувається в результаті викликаного вибухом удару швидко рухомих частин;

– **зварювання тертям** відбувається в результаті стирання і нагрівання зварюваних деталей за рахунок тертя при їх обертанні;

– **імпульсно-магнітне зварювання** – тиск електрода здійснюється імпульсним магнітним полем, завдяки чому подача електрода в період стирання прискорюється настільки, що набирає ударного характеру.

Процеси дугового зварювання називаються механізованими у випадку, коли за допомогою різних приводів і механізмів (електричних, пневматичних, гідравлічних та ін.) виконуються основні

зварювальні операції, наприклад, подача електродного дроту в зону зварювання, підвід електричного струму, подача захисного газу, переміщення зварювальної дуги калювак тива, подача флюсу тощо. Із механізованих способів зварювання плавленням широко використовуються автоматичне і напівавтоматичне зварювання під флюсом, у захисних газках, електрошлаковими, електрошлакове та ін.

1.3. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Важливою науково-технічною проблемою є створення економічних, надійних і довговічних зварних конструкцій, що можуть працювати на землі, під водою і в космосі, при великій різниці температур, в агресивних середовищах і при інтенсивному опроміненні. За допомогою зварювання і споріднених технологій створюється більше половини валового національного продукту промислово розвинутих країн. У зварювальному виробництві зайнято близько 5 млн людей, переважна більшість яких (70–80%) виконують електродугові процеси.

Основою зварювального виробництва є зварювання плавленням. Техніка і технологія цього процесу постійно вдосконалюються. На ринку зварювального обладнання перше місце займає апаратура для дугового зварювання. Зростає виробництво апаратури для зварювання порошковими і суцільними дротами при зменшенні частки обладнання для ручного дугового зварювання покритими електродами. У промислово розвинених країнах частка металу, наплавленого ручним дуговим зварюванням, зменшилась майже в 3 рази і становить 20–30%, в інших країнах таке зниження менш інтенсивне.

Друге місце займає виробництво обладнання для контактної зварювання. При цьому частка обладнання для газового зварювання і різання зменшується. У світовій практиці останнім часом почали широко використовувати інверторні джерела живлення, що мають великі можливості для автоматичного керування зварювальними процесами.

Розширюються галузі застосування лазерних технологій, зокрема потужних діодних зварювальних лазерів з високим к.к.д. Широкі можливості використання електронно-променевого зварювання, яким за один прохід можна зварювати метали товщиною до 200–300 мм. Для розвитку важкого машинобудування велике значення має електрошлакове зварювання при виготовленні крупногабаритних товстостінних виробів. Успішно розвивається контактне зварювання (розшове, точкове й рельєфне).

Розвиток електронної техніки й приладобудування призвів до створення ультразвукового, дифузійного, пресового та зварювання інших видів. Забезпечення з'єднань високої якості у складних умовах вимагає вдосконалення техніки та засобів підготовки до ремонтного зварювання.

Невід'ємною частиною зварювального виробництва є наплавлення, для якого використовують 8–10% електродів і суцільних дротів та 30% порошкових дротів від загального об'єму зварювальних матеріалів і практично всі спечені й порошкові стрічки. Удосконалюються технології нанесення спеціального та захисного покриття методами плазмо-дугового, електронно-променевого, газотермічного й димпінтного наплення. Особливе значення мають технології склеювання. Створено значну кількість клеевих композицій, які дають можливість з'єднувати одно- та різновідні матеріали.

Актуальною залишається проблема зварювання нових матеріалів на основі заліза, міді, нікелю, алюмінію, титану та ін. В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона знайшли нове рішення покращення зварюваності перспективних сплавів алюмінію й титану. Створені нові технології, що дають можливість одержання зварних з'єднань товщиною 0,5–1000 мм. Для одержання нероз'ємних з'єднань із різновідних матеріалів (сталь – титан, мідь – алюміній, сталь – алюміній та ін.) перспективними є такі процеси: зварювання магнітно-імпульсне, зварювання вибухом, дифузійне зварювання, паєння, склеювання, механічні (штепельні) з'єднання.

У виробництві впроваджені нові технології для зварювання полімерів і композитів на їх основі, зварювання труб із термопластів, які використовуються при спорудженні газо- й водопроводів та інших комунікацій. Перспективними є з'єднання цих матеріалів за допомогою ультразвукового зварювання, зварювання тертям і струмами високої частоти.

Значно розширилися можливості підводного зварювання та різання, які використовуються на глибинах декількох десятків метрів. Для цього використовують зварювання плавкими і неплавкими електродами, лазерне випромінювання. Розробляються нові механізовані способи зварювання й різання, а також обладнання, які були б придатні для використання на кілометровій глибині для прокладання газо- і нафтопроводів по дну океанів.

Важливою проблемою є застосування зварювальних технологій у космічному просторі, де перспективним способом вважається електронно-променево та лазерне зварювання. Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона разом з НВО «Енергія» проведені експерименти електронно-променевого зварювання, різання, паєння й наплення покриття у відкритому космосі, при яких були вичені

особливості одержання зварних з'єднань в умовах вакууму та мікрогравітації, оцінені можливості зварювання у скафандрі виконувати функції зварника.

Зварювання та споріднені технології будуть і надалі інтенсивно розвиватися, оскільки вони є ключовими для ведучих галузей сучасної промисловості.

Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте історію розвитку зварювання.
2. Що називається зварюванням?
3. На які класи поділяють зварювання?
4. Назвіть основні види зварювання плавленням.
5. Які види зварювання відносяться до термометалургічного класу?
6. Наведіть приклади перспективних видів зварювання.
7. Які види зварювання виконуються із використанням механічної енергії і тиску?
8. Коли було відкрито явище електричної дуги?
9. Хто відкрив спосіб електродугового зварювання плавким вугільним електродом?
10. Хто вперше зареєстрував зварювання плавким електродом?
11. Під чий керівництвом було запроваджені автоматичне й напівавтоматичне зварювання під шаром флюсу?
12. Коли вперше запроваджені зварювання сталей у середовищі вуглекислого газу?
13. Які обсяги виробництва зварювальних матеріалів в Україні?
14. Назвіть зварювальні технології, розроблені Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона.

Розділ 2 ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ Й ШВИ

2.1. ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Зварним з'єднанням називають через'ємне з'єднання, виконане зварюванням (рис. 2.1).

За видом з'єднання можуть бути стикові, кутові, таврові, випуск, горцеві.

Зварний шов – це ділянка зварного з'єднання, утворена в результаті кристалізації металу зварювальної ванни.

Зварювальна ванна – ділянка зварного шва, яка при зварюванні знаходиться в рідкому стані.

Кратером називають заглиблення, утворене в зварній ванні тиском дуги (волум'я).

Основним називають метал, який підлягає з'єднанню зварюванням.

Присаджувальним називають метал, призначений для введення в зварну ванну до розплавленого основного металу.

Наплавленням називають переплавлений присаджувальний метал, введений в зварну ванну до основного металу.

Металом шва називають сплав, утворений переплавленими основним і наплавленим металами.



Рис. 2.1. Стикове з'єднання.

а – підготовка до зварювання; б – виконаний шов;
1 – зварювальний електрод; 2 – зварний шов; 3 – зварна ванна; 4 – шлак;
5 – метал шва; 6 – основний метал; 7 – кратер шва; в – шов; г – притуплення; д – поверхня шва;
ж, з, и – товщина зварювання металу; а – кут між скосними гранями; б – кут скосу косми

Кромки – це торцеві поверхні деталей, що підлягають зварюванню.

Розчищення кромки – надання необхідної форми кромкам, які підлягають зварюванню.

Скіс кромки – це прямолінійний або криволінійний зріз кромки, яка підлягає зварюванню.

Притуплення кромки – висхищена частина її торця.

Зазор – відстань між притупленими кромками.

Кут скоєсу кромки – кут між площиною скоєсу кромки і торцем.

Кут розчищення кромки – кут між скоєсними кромками. Кромки розчищають з метою кращого провару кореня шва.

Підсилення шва – частина металу шва, що виступає над поверхнею зварюваних деталей.

Глибина проплавлення – найбільша глибина розплавленого основного металу в перерізі шва.

Корінь шва – частина зварного шва, де дно зварювальної ванни перетинає поверхню основного металу.

Шар – частина металу зварного шва, утворена одним або двома валиками, які розташовані на одному рівні поперечного перерізу шва.

Валиком називають метал, наплавлений або переплавлений за один прохід.

Прохід – це одноразове переміщення в одному напрямку джерела нагрівання.

Базитомаровий шов – це шов, утворений декількома шарами.

Підварний шов – менша частина двобічного шва, яка виконується попередньо для запобігання провалів при наступному зварюванні або накладається в останню чергу в корінь шва для забезпечення його високої якості.

Заготовка – матеріал, призначений для подальшої обробки і який має певні розміри з урахуванням припусків на обробку.

Напівфабрикат – заготовка, що пройшла часткову обробку і призначена для подальшої обробки.

Деталь – виріб, виготовлений з однорідного за назвою і маркою матеріалу без застосування складальних операцій.

Складальна одиниця (вузол) – сукупність з'єднаних між собою деталей.

Виріб – кінцевий продукт виробництва, предмет або група предметів, виготовлених на підприємстві.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називають зварним з'єднанням?
2. Які можуть бути зварні з'єднання?
3. Що таке зварний шов?

4. Що таке зварювальна ванна?
5. Що називають кратером?
6. Що називають основним металом?
7. Що називають присадковим металом?
8. Що називають наплавленим металом?
9. Що називають металом шва?
10. Що називають кромками?
11. Що таке розчищення кромки?
12. Що таке скіс кромки?
13. Що таке притуплення кромки?
14. Що таке зазор?
15. Що називають кутом скоєсу кромки?
16. Що таке кут розчищення кромки?
17. Що таке підсилення шва?
18. Що називають валиком?
19. Що таке глибина проплавлення?
20. Що називається корінням шва?
21. Що таке шар?
22. Що називається проходом?
23. Наведіть приклади загонки, деталей і складальних одиниць.

2.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ШВІВ

Зварні шви поділяються за видом зварного з'єднання та геометричними параметрами перерізу шва на стикові й кутові (рис. 2.2). Стикові шви використовують для виконання стикових, торцевих і відбортованих з'єднань. Кутові шви використовують у таврових, кутових і з'єднаннях внапуск. Розміри перерізу швів встановлені ГОСТ 5264-80. До основних геометричних параметрів зварного шва відносяться: товщина зварюваного металу, ширина шва, підсилення шва, глибина провару, товщина шва ($t+h+q$), зазор, катет кутового шва, розрахункова висота кутового шва і товщина кутового шва.

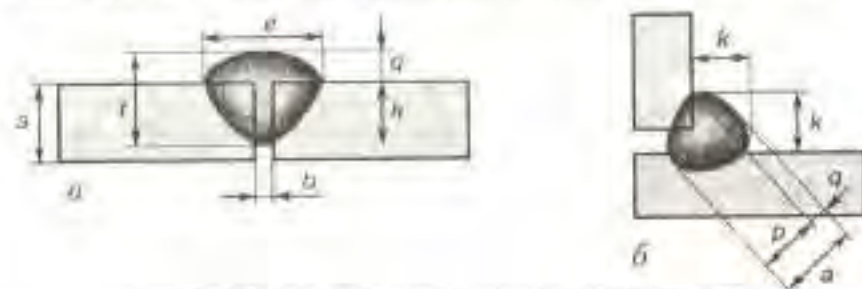


Рис. 2.2. Основні геометричні параметри зварного шва.

δ – товщина зварюваного металу; a – ширина шва; h – глибина провару; q – підсилення шва; t – товщина шва; b – зазор; k – катет кутового шва; p – розрахункова висота кутового шва; a – товщина кутового шва.

- Зварні шви (рис. 2.3) класифікуються за:
- типом з'єднань: стикові (1), кутові (2), таврові (3), випук (4), горбів (5);
 - протікністю: непереривчасті (6), переривчасті (7), переривчасті ланцюгові (8), переривчасті шахові (9);
 - кількістю шарів (валіків): одностарові (10), багатостарові (11);
 - формою зовнішньої поверхні: нормальні (12), увігнуті (13), випуклі (14);
 - відношенням до навантаження: робочі стикові (15), кутові (16), флангові (17), лобові (18), комбіновані (19), косі (20), зв'язувальні (21);
 - довжиною: короткі (до 300 мм; 22), середні (до 1000 мм; 23), довгі (більше 1000 мм; 24);

- характером виконання: однібічні (25), двібічні (26);
- положенням у просторі: шовні (27), горизонтальні (28), вертикальні (29), стельові (30), «у човник» (31);
- конфігурацією: прямолінійні (32), криволинійні (фігурні) (33), кільцеві (34), кільцеві спіральні (35);
- способом утримування зварювальної ванни: у висльотному положенні (36), на підкладці (37).

Контрольні запитання та завдання

1. Як позначають шви за типом з'єднання?
2. Як бувають шви за протікністю?
3. Як класифікують шви за положенням у просторі?
4. Яка довжина коротких, середніх і довгих швів?
5. Назвіть геометричні параметри зварних швів.

2.3. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ШВІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Конструктивні елементи зварних з'єднань і швів залежно від способу зварювання повинні відповідати стандартам:

- ГОСТ 5264-80 – ручне дугове зварювання;
- ГОСТ 11534-75 – ручне дугове зварювання під гострими і тупими кутами;
- ГОСТ 14771-76 – дугове зварювання в захисному газі;
- ГОСТ 8713-79 автоматичне та напівавтоматичне зварювання під флюсом.

Видимі шви на кресленнях зображують суцільними лініями, а невидимі – штриховими. Позначають шви ламаною лінією, яка складається з похилої ділянки і полички. Похила ділянка закінчується однібічною стрілкою, яка вказує місце розташування шва.

Характеристика шва відповідно умовному позначенню представляється над поличкою (коли вказаний лицьовий бік шва), або під поличкою (коли вказаний зворотний бік шва). За лицьовий бік однібічного шва приймають той, з якого виконують зварювання, а в двібічних – будь-який. Усі елементи умовного позначення розташовуються в певній послідовності і відокремлені між собою знаком «дефіс» (крім допоміжних знаків). Позначення способів зварювання буквами представляють тільки у випадку застосування декількох видів зварювання в окремому виробі. Наприклад, Р – ручне електродугове; А – автоматичне зварювання; П – напівавтоматичне; У – дугове у вуглекислому газі; Г – газове; АФ – автоматичне під флюсом; Кс – контактне стикове; Ш – електроншлакове. В умовному позначенні не вказують стандарт, якщо всі шви виконуються за одним стандартом, але роблять відповідні вказівки в примітках на кресленні.

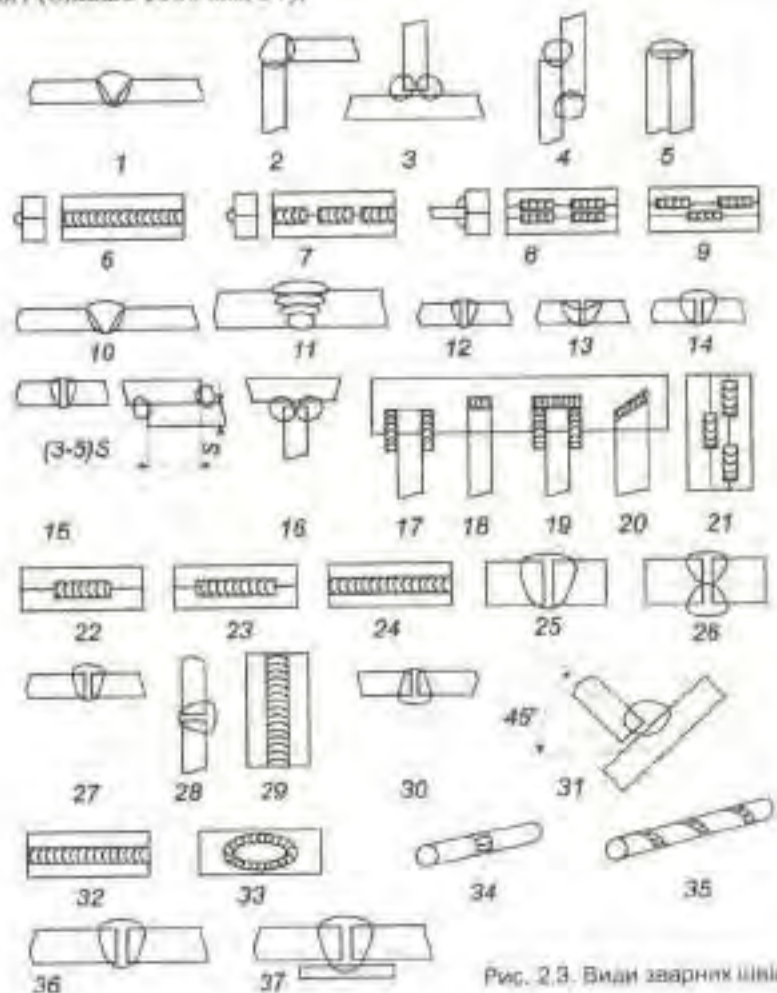


Рис. 2.3. Види зварних швів

Характеристика шва в умовному позначенні складається з таких елементів:

- позначення стандарту на типи й конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
- буквено-цифрове умовне позначення швів;
- умовне позначення способу зварювання (ніколи не вказується);
- знак катета шва та його розмір у міліметрах (тільки для з'єднань кутових, таврових і авалуєк);
- довжина проварюваної ділянки (для переривчастого шва), крок (довжина непровареної ділянки) і знак, яким позначається ландшафтний або шпоровий шов;
- допоміжні знаки (табл. 2.1);
- позначення шорсткості механічно-обробленої поверхні (ставлять у кінці умовного позначення або в таблиці швів, наведених на кресленні).

Таблиця 2.1

Допоміжні знаки для позначення зварних швів

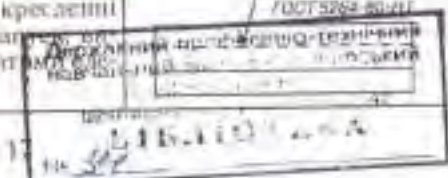
Умовний знак	Значення знаку	Розташування знаків	
		із зовнішнього боку	із внутрішнього боку
	Наливни й нерівності обробити з плавним переходом до основного металу		
/	Переривчастий шов із замикальним розташуванням ділянок		
Z	Переривчастий шов із шаховим розташуванням ділянок		
	Шов із замкнутим контуром		
	Підсилення шва зніти		
	Монтажний шов		
	Шов із замкнутим контуром		
Δ	Катет шва		

Колі на кресленні є однакові шви, то їх позначають одним номером, який ставлять на лінійках виносках, а умовне позначення вказують тільки на одному з них. Якщо стандарт вказаний в примітках креслення, то можливе спрощене буквено-цифрове позначення шва, яке вказує вид з'єднання і умовний номер шва за стандартом (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Позначення зварних швів

Назва шва	Приклад позначення
Стіковий двобічний шов із кристалізованим сколом двох кромки, виконаний дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-026
Стіковий однібічний шов зі сколом двох кромки за замкнутим контуром. Підсилення шва зніти механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-017 Δ
Кутовий однібічний шов без сколу кромки, монтажний Катет шва – 5 мм. Підсилення шва зніти механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-04 Δ 5 Δ
Тавровий невидимий однібічний шов, виконаний дуговим зварюванням у вуглекислому газі плавким електродом. Шов переривчастий з катетом 6 мм, довжина проварюваної ділянки – 50 мм, крок – 150 мм	ГОСТ 14773-76-74.07 Δ 6-50Z 150
Тавровий однібічний шов без сколу кромки, виконаний ручним дуговим зварюванням за замкнутим контуром із катетом 4 мм	ГОСТ 5264-80-71 Δ 4
Спрощене позначення стікового двобічного шва з двома симетричними сколами двох кромки, якщо стандарт вказаний в примітках креслення	021
Спрощене позначення при наявності на кресленні однакових швів і коли вказане позначення біля одного з них за №1	№1
Видиме зображення шва на кресленні (суцільною лінією). З'єднання виконує шпоровим дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-11
Невидиме зображення шва на кресленні (штриховою лінією). З'єднання виконує дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-11



Для позначення виду зварювання і типу з'єднання використовують букви: Г — глибоке, С — стикове, К — кутове (У), Т — таврове, В — внапісок (П). Цифри після букв вказують на умовний порційний номер і форму розчищення кромки (букви в дужках — російське позначення відповідно стандарту).

Контрольні запитання та завдання

1. Як на кресленнях зображують видні шви?
2. Як вказують місце розташування шва?
3. Як позначають шви, якщо вони розташовані на зворотному боці?
4. Що означає допоміжний знак \sim ?
5. Як позначають переривчастий шов із ланцюговим розташуванням ділянок за зворотного боку?
6. Що означає допоміжний знак Z ?
7. Як позначають шов за незамкнутим контуром із лицьового боку?
8. Що означає допоміжний знак Q ?
9. Яким допоміжним знаком позначають катет шва?
10. Як позначають напівзатятий шов?
11. Як позначають шов за замкнутим контуром?
12. Що вказують цифри після букв позначення виду і методів зварювання?
13. Якими буквами позначають зварювання різних видів?
14. Коли в умовному позначенні не вказують стандарт?
15. З яких елементів в умовному позначенні складається характеристика шва?
16. Як виконують спрощене позначення шва?
17. Де ставлять позначення шорсткості механічно-обробленої поверхні в умовному позначенні шва?
18. У яких випадках шви позначають одним номером, який ставлять на лінійних виносках?
19. Укажіть допоміжні знаки для позначення зварних швів.

Розділ 3 ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА

3.1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА ТА ЇЇ БУДОВА

Електричною дугою називають трифазий розряд електричного струму між двома електродами в іонізованій суміші газів і парів металів, а також компонентів, які входять до складу покриттів електродів і флюсів.

Залежно від способу підведення зварювального струму, виду струму та інших ознак розрізняють такі види зварювальної дуги:

- дуга прямої дії (рис. 3.1, а) горить між електродом і основним металом;
- дуга непрямої дії (рис. 3.1, б) горить між двома електродами, а основний метал не увімкнений в електричне коло;
- трифазна дуга (рис. 3.1, в) горить між двома плавкими електродами і основним металом;
- стиснена дуга (рис. 3.1, г) горить між електродами і стисненим газом (плазмова дуга).

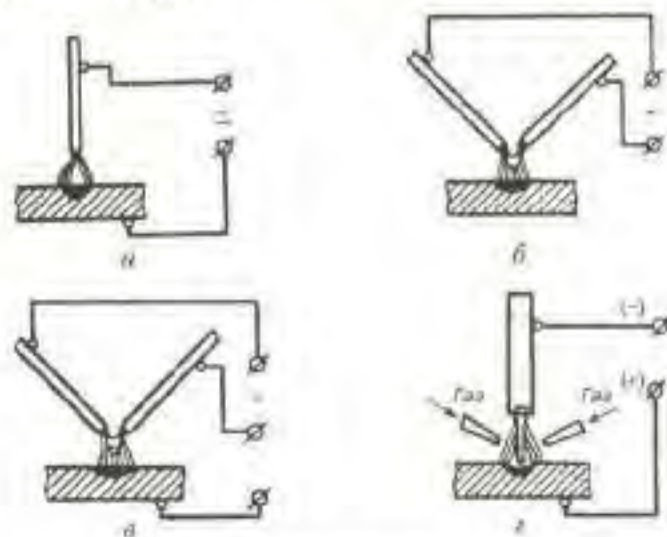


Рис. 3.1. Види зварювальної дуги:

а — прямої дії; б — непрямої дії; в — трифазна; г — стиснена

У звичайних умовах газів не проводять електричного струму, бо вони складаються з атомів і нейтральних молекул, які не є носіями електричних зарядів. Для утворення й підтримання горіння дуги необхідно, щоб у просторі між електродами були електрично заряджені частинки (електрони та іони). Процес утворення таких частинок називається *іонізацією*, а газ — *іонізованим*. Енергія, витрачена на утворення іонів і відірвання електронів від атомів, називається *потенціалом іонізації*. Найменший потенціал іонізації мають лужні й лужно-земельні метали (калій, натрій, кальцій) та їх сполуки, оксид заліза, які вводять в електродні покриття для підвищення стійкості горіння дуги.

Запалювання дуги постійного струму проходить таким чином. При короткому замиканні електрода (катод) на виріб (анод) виділяється велика кількість тепла, яке прискорює рух вільних електронів по замкнутому зварювальному колу. Після відриву (відводу) електрода від виробу під впливом електричного поля вільні електрони починають вилітати в міжелектродний простір. Виникає електронна емісія — самовільний вихід вільних електронів з катода у газове середовище, що призводить до збудження електричної дуги. Електрони, які вилетіли з кінця електрода, поповнюються з джерела живлення зварювальним струмом і дуга буде горіти постійно.

У дуговому проміжку розривають ударну, фото- і теплову іонізацію. При ударній іонізації електрони, які вийшли з електрода (катода) на шляху до анода зіштовхуються з атомами, вибиваючи з їхніх орбіт електрони і утворюючи позитивні іони або приєднуються до атомів, утворюючи негативні іони. Фотоіонізація полягає в утворенні заряджених частинок під впливом світлових (ультрафіолетових) променів, які поглинаються атомами й молекулами. Теплова іонізація проявляється при підвищенні температури нагрівання газів і парів дуги, що призводить до збільшення числа ударів іонів та електронів, а значить й утворення нових. Таким чином безперервна іонізація створює необхідні умови для стійкого горіння дуги. У сучасному зварювальному обладнанні для іонізації газу використовують високовольтний розряд спеціального генератора високочастотних коливань — осцилятора, який збуджує дугу без дотику електрода до виробу.

Зварювальна дуга — це ділянка електричного кола, на якій проходить спад напруги і яка поділяється на три області: катодну та анодну плями й стовп дуги (рис. 3.2).

Катодна пляма є джерелом електронів. Температура її досягає 2400–2600°C (для сталевих електродів). У катодній плямі виділяється близько 38% загальної кількості тепла, а спад напруги (U_c) пов'язаний з витратами на емісію та розгін електронів і становить 12–17 В.

Стовп дуги є провідником електричного струму, де утворюються вторинні електрони та іони. Стовп дуги нейтральний. У ньому одночасно знаходиться однакова кількість заряджених частинок протилежних знаків. Процес з'єднання позитивних іонів з електронами й утворення нейтральних атомів називається *рекомбінацією*. У стовпі дуги виділяється близько 20% її загального тепла, а спад напруги (U_s) зростає при збільшенні довжини дуги (L_d) і становить 2–12 В. Температура стовпа дуги залежить від сили зварювального струму і досягає 6000–8000°C. Температура краплі металу на кінці електрода дорівнює 2150°C, а при перельоті через стовп дуги — 2350°C. Середня температура зварювальної ванни становить 1770°C.

Анодна пляма є місцем входу електронів і має температуру 2400–2600°C, але в результаті бомбардування електронами на ній виділяється більше тепла (42%), ніж на катодній плямі. Спад напруги на анодній плямі (U_a) пов'язаний з витратами енергії на бомбардування анода електронами й дорівнює 2–11 В. Поверхня анодної плями під впливом сильного бомбардування має увігнуту форму, яку називають *кратером*.

Загальний спад напруги на дузі вираховують за формулою:

$$U_d = U_c + U_s + U_a = 16 + 40 \text{ В.}$$

При зварюванні дугою постійного струму існує пряма та зворотна полярність. Для прямої полярності електрод (катод) слід під'єднати до негативної клемми джерела живлення, а виріб (анод) — до позитивної. При цьому більше тепла буде виділятися на виробі, тому пряму полярність використовують для зварювання товстих металів. При зворотній полярності катодну й анодну плями міняють місцями, тобто катодом буде виріб, а анодом — електрод. Цю полярність використовують для зварювання тонких металів, щоб уникнути прожарів, і для високолегованих сталей, щоб зменшити вигорання легуючих елементів.

При зварюванні змінним струмом полярність змінюється з частотою 50 Гц, тобто 100 разів за секунду. При переході синусоїдального струму через нульове значення, струм у дузі припиняється, тому дуга змінного струму менш стійка порівняно з дугою постійного струму. При зварюванні змінним струмом кількість тепла, що

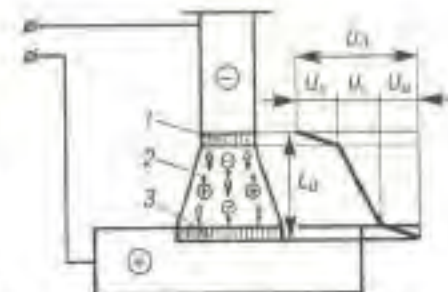


Рис. 3.2. Будова електричної дуги і розподіл напруги на її областях.

1 — катодна пляма, 2 — стовп дуги, 3 — анодна пляма.

впливається на електрод і виробі, буде однаковим. Якщо дуга змінює струму горить між матеріалами з різними фізичними властивостями, то може виникнути різна провідність стовпа дуги, тобто з'явиться постійна складова струму. Таке явище спостерігається при зварюванні в захисних газах вольфрамовим електродом алюмінію, що негативно впливає на якість зварного шва.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називається електричною дугою?
2. Що називається зварювальною дугою?
3. Як називається процес утворення заряджених частинок у газах?
4. Що таке електронна емісія?
5. Які види іонізації розрізняють у дуговому просторі?
6. Яка температура катодної пламени?
7. Яка температура стовпа дуги?
8. Який запалювальний спад напруги в дузі?
9. Охарактеризуйте катодну плазму?
10. Охарактеризуйте анодну плазму?
11. Як підвищують стійкість горіння дуги?
12. Яку полярність слід використовувати для зварювання тонких металів?

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

3.2.1. Вольт-амперна характеристика дуги

Основною характеристикою зварювальної дуги є статична вольт-амперна характеристика. Це залежність напруги на дузі при постійній її довжині від сили зварювального струму (рис. 3.3). Крива статичної вольт-амперної характеристики має три області: спадаючу (I), жорстку (II) і зростаючу (III). **Спадаюча** – при збільшенні струму напруга зменшується, **жорстка** – збільшення струму не змінює напруги дуги і **зростаюча** – збільшення зварювального струму призводить до зростання напруги дуги.

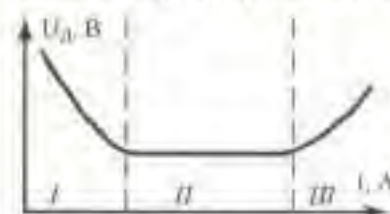


Рис. 3.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

При ручному зварюванні покритими електродами статична характеристика дуги спадаюча, а при збільшенні струму переходить до жорсткої. При зварюванні у вуглекислому газі і під флюсом статична характеристика жорстка з переходом до зростаючої. Коли сила струму не змінюється, напруга дуги залежить від її довжини.

3.2.2. Зварювальні властивості дуги. Теплова потужність дуги

Зварювальна дуга є джерелом тепла. Майже вся електрична енергія, що споживається дугою, перетворюється у теплову енергію і витрачається на плавлення металу. Частина тепла витрачається на нагрівання навколишнього повітря.

Повна теплова потужність дуги залежить від величини зварювального струму та напруги дуги і визначається за формулою:

$$Q = 0,24 \cdot I_{\text{дг}} U_{\text{дг}}$$

де Q – повна теплова потужність дуги, ккал/с (1 ккал = 4,1868 Дж); 0,24 – коефіцієнт переводу електричних одиниць у теплові, ккал/Вт·с; $I_{\text{дг}}$ – сила зварювального струму, А; $U_{\text{дг}}$ – широта дуги, В.

Теплота, яка безпосередньо вводиться у виріб, називається ефективною тепловою потужністю дуги і визначається за формулою:

$$q_{\text{эф}} = 0,24 \cdot I_{\text{дг}} U_{\text{дг}} \eta_{\text{дг}}$$

де $q_{\text{эф}}$ – ефективна теплова потужність дуги, ккал/с; $\eta_{\text{дг}}$ – ефективний коефіцієнт корисної дії нагрівання виробу дугою.

Ефективний коефіцієнт корисної дії нагрівання дугою є відношенням ефективної теплової потужності дуги до її повної теплової потужності:

$$\eta_{\text{дг}} = \frac{q_{\text{эф}}}{Q}$$

Залежно від способу зварювання, марки електрода, флюсу, типу зварного з'єднання, швидкості зварювання, роду струму та його полярності, ефективний коефіцієнт корисної дії становить:

- при зварюванні покритими електродами – 0,5 – 0,85;
- при зварюванні неплавкими електродами – 0,5 – 0,65;
- при зварюванні під флюсом – 0,85 – 0,93;
- при зварюванні в аргоні – 0,5 – 0,6.

Кількість тепла, що вноситься дугою у виріб на одиницю довжини шва, називається *поточною енергією зварювання* і визначається за формулою:

$$q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{эф}}}{V_{\text{ш}}} = \frac{0,24 \cdot I_{\text{дг}} U_{\text{дг}} \eta_{\text{дг}}}{V_{\text{ш}}}$$

де $q_{\text{п}}$ – поточна енергія зварювання, ккал/см; $V_{\text{ш}}$ – швидкість зварювання, см/с.

Чим вища поточна енергія, тим сильніше прогрівається метал шва, а із збільшенням швидкості зварювання нагрівання металу зменшується.

Погонна енергія відходить у прямих залежності від площі поперечного перерізу шва і визначається за емпіричною формулою:

$$q_{\text{в}} = 150F \text{ (кал/см)},$$

де F — площа поперечного перерізу шва, мм².

За допомогою цієї залежності без значних розрахунків можна визначити переріз однопрохідного шва і встановити необхідну кількість проходів при багатопрохідному зварюванні.

3.2.3. Вплив магнітного поля на дугу

Зварювальна дуга, як і будь-який інший провідник, взаємодіє з магнітним полем. Відхилення стовпа дуги під впливом магнітного поля називається *магнітним дуттям*. Струм, який проходить по зварювальних кабелях, електродах та дузі, створює навколо дуги і у зварюваному металі магнітні поля (рис. 3.4). Щодо осі дуги вони розташовані несиметрично і можуть її відхилити в бік меншої напруженості магнітного поля, що утруднить зварювання або призведе до обриву дуги. В основному це явище спостерігається при зварюванні постійним струмом. При зварюванні змінним струмом полярність змінюється з частотою струму, тому магнітне дуття спостерігається значно рідше.

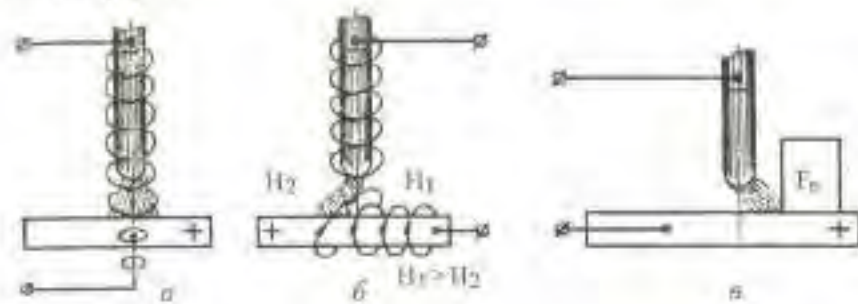


Рис. 3.4. Вплив магнітного поля на зварювальну дугу.

a — нормальне положення дуги; b — відхилення дуги за рахунок нерівномірної напруженості магнітного поля; c — відхилення дуги за допомогою феромагнітної маси; H_1, H_2 — напруженість магнітного поля

Найчастіше магнітне дуття викликають масивні метали виробу (великі феромагнітні маси), що розташовані поряд із зварною ванною і притягують дугу. Це може викликати непровари, нерівномірне розплавлення кромки, погіршення зовнішнього вигляду шва. Для магнітних полів можна послабити таким чином:

— зворотний кабель (провід) приєднати поряд із місцем зварювання;

— змінити нахил електрода таким чином, щоб його нижній кінець був найближчий у бік магнітного дуття;

— тимчасово розмістити додатковий феромагнітний матеріал (з протидіюючого боку) для створення симетричного магнітного поля;

— виконувати зварювання короткою дугою, менш схильною до відхилення;

— замінити постійний струм на змінний, який більш стійкий проти магнітного дуття;

— застосувати інверторні джерела живлення;

— використати стабілізатори дуги.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке вольт-амперна характеристика дуги?
2. Як визначається повна теплова потужність дуги?
3. Що таке магнітне дуття?
4. Якими способами можна послабити дію магнітного дуття?

3.3. ПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ТА ОСНОВНОГО МЕТАЛУ

3.3.1. Перенесення електродного металу через дугу на виріб

Електродний метал плавиться за рахунок тепла стовпа дуги й тепла зварювального струму. Кінець електрода нагрівається до температури 2300–2500°C, яка забезпечує його плавлення та утворення крапель розплавленого металу. Ці краплі під впливом сил поверхневого натягу, тяжіння, тиску газів, електростатичних й електродинамічних сил переміщуються через дуговий простір у зварювальну ванну. Залежно від розмірів і швидкості утворення крапель розрізняють краплинне та струминне перенесення. *Краплинне перенесення* характерне для ручного дугового зварювання покритими електродами (крупнокраплинне) та для механізованого зварювання під флюсом і в захисних газах (дрібнокраплинне). *Струминне перенесення* крапель спостерігається при зварюванні в аргоні на критичних струмах.

Краплі можуть бути величиною від тисячних часток міліметра до декількох міліметрів. За 1 с переноситься від однієї-двох до 150 крапель і більше. Вони завжди переміщуються відносно осі електрода в напрямку зварювальної ванни незалежно від просторового розташування шва. При збільшенні сили зварювального струму розмір крапель зменшується, а кількість збільшується. При збільшенні швидкості (довжині дуги) розмір крапель збільшується.

але зменшується їх кількість. Струмине перенесення утворює дрібні краплі, які прямують одна за одною у вигляді безперервного лавинного (струменя). При цьому зменшується витворіння легуючих елементів і розбризкування, підвищується чистота металу шва та швидкість плавлення електрода. Струмине перенесення неможливе при аварійному покритті електродом через велику густину струму на електроді (10–20 А/мм²). При ручному дуговому зварюванні у вигляді крапель переноситься до 95% електродного металу, а решта 5% – це пара й бризки, які осідають на поверхні виробу. На відміну від електродугового зварювання при електрошлаковому процесі збільшення зварювального струму й напруги впливає однаково та викликає збільшення кількості крапель, зменшуючи їх розміри.

3.3.2. Плавлення основного металу

Плавлення основного металу проходить за рахунок тепла стовпа дуги й тепла приелектродної ділянки. Глибина та ширина проплавлення металу визначається концентрацією теплового й сідового впливу дуги. Порівняно з неплавким електродом, дуга плавкого електрода має більший сіловий вплив на зварну ванну. Тиск газового потоку становить 1% від тиску, створюваного електромагнітними силами.

Контрольні запитання та завдання

1. При яких видах зварювання відбувається краплине перенесення електродного металу через дугу на виріб?
2. Як утворюється струмине перенесення електродного металу?
3. Як проходить плавлення основного металу?

3.4. ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ

Продуктивність процесу зварювання визначають за кількістю розплавленого і наплавленого електродного металу.

Продуктивність розплавлення електрода називають масу розплавленого електродного металу за одиницю часу і визначають за формулою:

$$G_p = \alpha_p \cdot I_w,$$

де G_p – продуктивність розплавлення, г/год; α_p – коефіцієнт розплавлення електрода, г/А·год; I_w – сила зварювального струму, А.

Коефіцієнтом розплавлення електродного металу називають масу розплавленого електродного металу за 1 год, яка припадає на один ампер зварювального струму. Цей коефіцієнт залежить від типу накрітки, роду, полярності й густини струму, способу зварювання і становить 7 + 22 г/А·год.

Розплавлений електродний метал при перенесенні у шов витрачається на розбризкування. Продуктивність перенесення електродного металу або продуктивність наплавлення визначають за формулою:

$$G_n = \alpha_n \cdot I_w,$$

де G_n – продуктивність наплавлення, г/год; α_n – коефіцієнт наплавлення, г/А·год; I_w – сила зварювального струму, А.

Коефіцієнтом наплавлення називають масу електродного металу, наплавлену протягом години, що припадає на один ампер зварювального струму. Він менший за коефіцієнт розплавлення на величину втрат електродного металу (на 1 = 3 г/год). Коефіцієнт, який характеризує втрати розплавленого металу, визначають за формулою:

$$\alpha = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%,$$

де α – коефіцієнт втрат електродного металу, який становить 3 + 20%.

Втрати понад 20% роблять зварювання економічно невідповідним. При зменшенні діаметра електрода й збільшенні густини струму коефіцієнти розплавлення і наплавлення збільшуються. Збільшення напруги та швидкості зварювання в захисних газах призводять до підвищення витрат на розбризкування, випромінювання, випаровування й зменшення коефіцієнтів розплавлення та наплавлення.

Значення коефіцієнтів розплавлення й наплавлення використовують для нормування витрат електродів і часу зварювання, наприклад, для визначення продуктивності наплавлення штучними електродами діаметром 4 мм при струмі 180 А, якщо коефіцієнт наплавлення даних електродів становить:

$$\alpha_n = 10 \text{ г/А·год}, \quad G_n = 10 \cdot 180 = 1800 \text{ г/год} = 1,8 \text{ кг/год} = 30 \text{ г/хв.}$$

Контрольні запитання та завдання

1. Як визначають продуктивність процесу зварювання?
2. Що означає продуктивність розплавлення електрода?
3. Як визначають продуктивність наплавлення штучними електродами?

МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

4.1. ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Металургійні процеси при зварюванні — це процеси взаємодії рідкого металу з газами та шлаками. Ці процеси проходять під час плавлення електрода, при переході краплі рідкого металу через дугу, а також у самій ванні. Зварювальні металургійні процеси мають такі особливості:

- висока температура нагрівання металу;
- малий об'єм зварювальної ванни;
- активна взаємодія розплавленого металу з навколишнім середовищем і шлаками;
- короткочасність процесу.

Висока температура дуги й зварної ванни призводить до розпаду (дисоціації) молекул кисню, азоту, водню на атоми та іони. У цьому стані вони стають дуже активними й вступають у хімічні зв'язання з металом шва, погіршуючи його властивості.

Малий об'єм зварної ванни сприяє її швидкому охолодженню. При цьому створюються перешкоди очищенню металу від неметалевих включень та оксидів, які не встигли вийти на поверхню шва.

Активна взаємодія розплавленого металу з навколишнім середовищем і шлаками сприяє додатковому насиченню металу шва газами й шлаковими включеннями.

Короткочасність процесу зварювання призводить до того, що хімічні реакції між розплавленим металом і шлаком не завершуються. Швидка кристалізація впливає на структуру й механічні властивості металу шва. Час від початку розплавлення до застигання зварної ванни становить декілька секунд. За секунду метал охолоджується від t до 15°C .

4.1.1. Забруднення металу шва

Метал шва взаємодіє з шкідливими речовинами з навколишнього повітря, вологі, іржі, масла, мінерали, які входять до складу зварювальних матеріалів, різних хімічних сполук, що утворюються під час взаємодії розплавленого металу із зварювальними матеріалами.

Забруднення металу шва можна запобігти такими способами:

- просушування зварювальних матеріалів для видалення вологі, крено й води;

- видалення іржі, масла та вологі з поверхні зварювальних деталей;

- створення газового й шлакового захисту дуги та зварюваного металу;

- розкиснення — переведення оксиду заліза в нерозчинні сполуки з наступним видаленням у шлак (розкиснювачі вводяться у зварну ванну через електродний дрот, покриття, флюси). Розкиснювачами є марганець, кремній, титан, алюміній, вуглець та інші елементи;

- рафінування — видалення сульфідів, фосфідів, нітридів, водню за допомогою хімічних реакцій та утворення нових хімічних сполук, які не розчиняються в залізі, а переходять у шлак.

4.1.2. Легування металу шва

Легуванням називається процес введення в метал шва різних елементів (хром, нікель, титан, марганець, вольфрам, молибден, ванадій та ін.), надаючи йому необхідних властивостей (міцності, в'язкості, корозійної стійкості та ін.). Ці елементи вводяться до складу електродного дроту, присаджувального металу, електродного покриття або флюсу. При зварюванні легуючі елементи частково випаровуються і неповністю переходять у шва. Це треба враховувати при виборі марки електроду, присаджувального дроту, флюсу.

Контрольні запитання та завдання

1. Які металургійні процеси відбуваються при зварюванні?
2. Охарактеризуйте особливості металургійних процесів при зварюванні.
3. Які способи уникнення забруднення металу шва?
4. Що називають легуванням металу шва?

4.2. КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛУ ШВА

Кристалізацією називається процес утворення твердих частинок (зерен) із розплавленого металу під час його переходу з рідкого стану у твердий. Зварна ванна поділяється на дві частини: передню (головну) і хвостову. В передній частині проходить плавлення металу, а в хвостовій — кристалізація (формування шва). Розрізняють первинну і вторинну кристалізацію.

Первинною кристалізацією називається перехід металу з рідкого стану у твердий. При цьому утворюються кристали (зерна). Первинна кристалізація проходить при високих швидкостях охолодження окремими товстими шарами. Після утворення першого шару відбувається затримка в охолодженні через виділення прихованої теплоти. Потім кристалізується другий шар і т. д. до повного затвердіння зварної ванни (рис. 4.1). Товщина шарів становить від десятих часток міліметра до декількох міліметрів. Початком кристалізації є неповністю оплавлені зерна на кромках основного металу.

Залежно від форми і розташування зерен розрізняють зернисту, або стовпчасту, і дендритну структури. Зерниста структура не має конкретної орієнтації і нагадує багатогранники. Вона зустрічається в основному металі та металі шва при швидкому охолодженні. Стовпчаста й дендритна структури мають витягнуті в одному напрямку зерна. Такі структури властиві швам при зварюванні під флюсом, електронпласковому зварюванні, де проходить повільне охолодження металу шва. При великому об'ємі зварної ванни і низькій швидкості охолодження збільшується розмір зерен і знижуються механічні властивості шва. Для подрібненої структури в рідкий метал вводять модифікатори (алюміній, титан, ванадій та ін.).

При кристалізації може виникати ліквідація – нерівномірний розподіл складових сплавів (неоднорідний хімічний склад) та усадка – зменшення об'єму при затвердінні. При цьому утворюються тріщини, раковини, виникають внутрішні напруження. При зниженні температури проходить алотропічне перетворення (зміна кристалічної решітки), яке супроводжується зміною будови металу. Таке явище називається вторинною кристалізацією, або перекристалізацією. Вторинна кристалізація починається з розпаду первинної структури і завершується при низьких температурах із утворенням стійких структур.

Зерна металу шва за формою відрізняються від зерен основного металу, які витягнуті у напрямку прокатування.



Рис. 4.1. Схема росту кристалів

1 - границя сплавлення; 2 - зерна основного металу; 3 - кристалізаційні шари; 4 - кристали

4.3. СТРУКТУРА ШВА ТА ЗОНА ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

Зварне з'єднання поділяють на чотири зони (рис. 4.2):

– **метал шва** – це сплав, утворений переплавленим основним і наплавленим металами або тільки основним металом;

– **зона сплавлення** – це метал, який знаходиться на межі шва і основного металу;

– **зона термічного впливу** – це ділянка основного металу, яка не підлягає розплавленню; її структура й властивості змінюються під впливом нагрівання при зварюванні;

– **основний метал** – це метал, який підлягає зварюванню.

Зона термічного впливу має декілька структурних ділянок, які відрізняються за формою і будовою зерен (рис. 4.3):

– **зона неповного розплавлення** знаходиться в твердо-рідкому стані і визначає якість зварного з'єднання. У цій зоні проходить сплавлення кристалів металу шва із зернами основного металу; температура в ній вища за температуру плавлення металу;

– **перегрів** – область основного, сильно нагрітого (1100–1500°C) металу з крупнозернистою структурою і зниженими механічними властивостями. В цій зоні можливе утворення гартованих структур;



Рис. 4.2. Будова зварного з'єднання

1 - метал шва; 2 - зона сплавлення; 3 - зона термічного впливу; 4 - основний метал

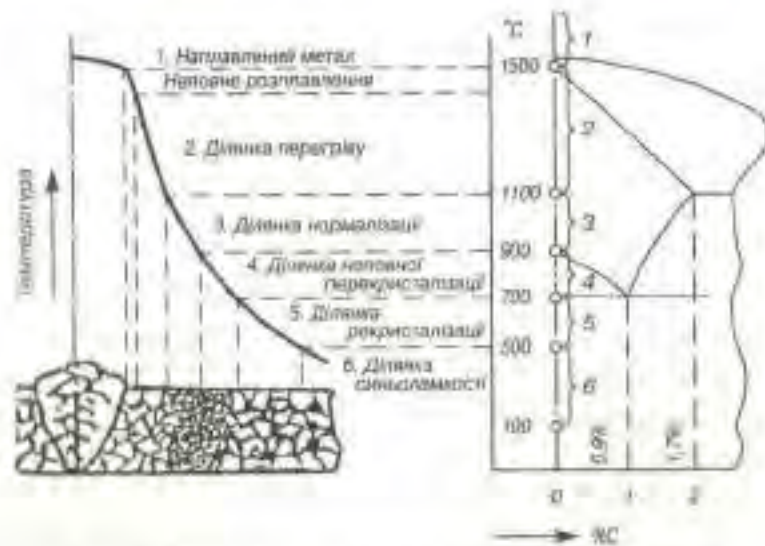


Рис. 4.3. Будова зони термічного впливу зварного з'єднання

— **нормалізації** — область основного металу (930–1100°C), вибирає дрібнозернисту структуру з найвищими механічними властивостями;

— **неповної перекристалізації** — область основного металу (720–930°C), у якій навколо крупних зерен розташовуються дрібні, утворені в результаті перекристалізації;

— **рекристалізації** — частина основного металу (450–720°C), для якої характерним є відновлювання форми і розмірів зруйнованих зерен металу, що раніше піддавався обробці тиском;

— **сеньсаламкості** — відмітих структурних змін не має (200–450°C), але характеризується зниженням пластичних властивостей.

Для покращення структури і властивостей металу шва і біляшовної зони використовують гаряче проковування металу шва, загалом термообробку в печях і повільне охолодження.

Коли зварюють середньо- і високовуглецеві сталі в зоні термічного впливу утворюються гартовані структури, які підвищують твердість, крихкість, спричиняють внутрішні напрути й тріщини. Тому зварювання виконують з попереднім і супровідним підігрівом, а після зварювання повільно охолоджують. Ширина зони термічного впливу залежить від способу та режимів зварювання й становить, мм:

- при ручному дуговому зварюванні — 3–6;
- при зварюванні під флюсом — 2–4;
- при зварюванні в захисних газах — 1–3;
- при електрошлаковому зварюванні — 11–14;
- при газовому зварюванні — 8–28.

Ширина зони термічного впливу збільшується при збільшенні зварювального струму і зменшується з підвищенням швидкості зварювання.

Контрольні запитання та завдання

1. Як утворюються окисношлякові процеси при зварюванні?
2. Чому низьковуглецеві сталі можна зварювати без флюсів?
3. Як впливає водень на металургійні процеси при зварюванні?
4. Чим характеризується ділянка неповного розплавлення біляшовної зони?
5. Чим характеризується ділянка перегріву?
6. Що характерно для ділянки нормалізації?
7. Що характерно для ділянки неповної перекристалізації?
8. Чим характеризується ділянка рекристалізації?
9. Що характерно для ділянки сеньсаламкості?
10. Що використовують для покращення структури і властивостей металу шва і біляшовної зони?

4.4. ВИНИКНЕННЯ ТРІЩИН ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Домішки й забруднення, які знаходяться у зварній ванні, мають більш низьку температуру затвердіння ніж метал. Вони розташовані як краях зерен, чим послаблюють міцність їх з'єднання.

На розташування неметалевих включень впливає форма шва. У глибоких і вузьких швах вони залишаються між зернами, а в широкіх — витіснюються на поверхню.

При утворенні між дендритами легкоплавких забруднень (сульфіда заліза FeS) у шві можуть виникнути гарячі тріщини. Переважно вони виникають при усадці металу в процесі кристалізації. Утворенню гарячих тріщин (червопаламкості) сприяє підвищений вміст у шві сірки, вуглецю, кремнію та нікелю.

Для зменшення схильності металу до утворення гарячих тріщин виконують такі заходи:

- використовують зварювальні метали з мінімальним вмістом сірки і вуглецю;
- у метал шва вводять марганець, який виводить сірку в шлак;
- вводять модифікуючі елементи (титан, алюміній), які сприяють утворенню дрібнозернистості структури;
- виконують попередній та супровідний підігрів виробу для зменшення розтягуючих напрут.

У результаті виникнення в металі шва значних внутрішніх напрут при температурі вище 300°C утворюються холодні тріщини. Вони поширюються по краях зерен або перегинають їх. Тому такі тріщини називають внутрішньокристалічними. На схильність металу до утворення холодних тріщин впливають водень, фосфор, підвищене охолодження, підвищений вміст вуглецю та легуючих елементів.

Причиною виникнення холодних тріщин може бути водень, який з'єднуючись у молекули, створює великий тиск у середині зерен.

Схильність металу до утворення холодних тріщин (холоднопаламкості) можна зменшити, застосовуючи такі заходи:

- використовують зварювальні матеріали з мінімальним вмістом фосфору;
- просушують електроди, флюси й захисні гази;
- виконують гаряче проковування шва після зварювання для зменшення внутрішніх напрут;
- використовують попередній та супровідний підігрів виробів.

Контрольні запитання та завдання

1. Коли виникають гарячі тріщини?
2. Що слід робити для зменшення схильності металу до утворення гарячих тріщин?
3. При яких температурах виникають холодні тріщини?

4.5. ЗВАРЮВАНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

Зварюваність – це здатність матеріалів для виготовлення зварних конструкцій. Розрізняють фізичну і технологічну зварюваність.

Фізична зварюваність – здатність зварюваних матеріалів створювати надійні зв'язки між атомами. Таку зварюваність мають чисті метали й технічні сплави, а також деякі сплави металів із неметалами.

Технологічна зварюваність – здатність матеріалів зварюватись за певних видів і режимів зварювання.

Зварюваність залежить від властивостей металу: кристалічної решітки, наявності шкідливих елементів тощо. Зварюваність вважається крайньою при використанні простої технології, коли є широкі межі режимів зварювання, у швах відсутні тріщини, пори, металеві вclusions та інші дефекти.

Особливими показниками зварюваності є:

- відповідність металу заданим вимогам;
- окиснюваність металу;
- стійкість проти утворення пор;
- чутливість до теплового впливу зварювання;
- стійкість проти утворення гарячих і холодних тріщин;
- стійкість проти утворення блискавичних тріщин;
- стійкість проти корозії;
- міцність, стійкість проти спрацювання, витрималість;
- величина внутрішніх напружень і деформацій;
- якість формування зварного шва.

Спосіб зварювання, зварювальні матеріали і техніку зварювання для кожного матеріалу вибирають залежно від основних показників його зварюваності. Не зварюється мідь з свинцем, утруднене зварювання титану з вуглецевими сталями і нікелю, далі із сплавом титану.

4.5.1. Зварюваність сталей

Зварюваність сталей залежить від їх хімічного складу. Найбільший вплив мають вуглець і шкідливі домішки (сірка та фосфор), при збільшенні вмісту яких зварюваність погіршується. Для зварювання виробів в основному використовують конструкційні низьковуглецеві, низько- й середньолеговані сталі. Рідше зварюють високовуглецеві сталі. Основними труднощами, які виникають при зварюванні сталей є:

- схильність до утворення гартованих структур (у сталях із вмістом вуглецю понад 0,22%);
- схильність до утворення гарячих (вміст сірки) і холодних (вміст фосфору) тріщин;
- забезпечення достатньої міцності з'єднання.

На зварюваність сталей також впливають хімічний склад елементів, режим зварювання, температура навколишнього середовища, товщина сталі, закріплення елементів конструкцій, техніка виконання зварювання тощо.

Враховуючи труднощі зварювання, сталі за зварюваністю поділяють на чотири групи:

1. **Добре зварювані сталі** – це низьковуглецеві та низьколеговані сталі, які не гартуються та зварюються без обмежень, незалежно від товщини металу, конфігурації шва і жорсткості конструкції в широкому інтервалі режимів зварювання. Для низьколегованих сталей з вмістом вуглецю більше 0,16%, товщині понад 25 мм і жорсткій конструкції необхідний попередній підігрів до 100–150°C.

2. **Задовільно зварювані сталі** – це вуглецеві сталі з вмістом вуглецю від 0,22% до 0,30% і низьколеговані сталі з вмістом вуглецю від 0,14% до 0,22%. Такі сталі зварюються при температурі довкілля не нижче +5°C і товщині металу не більше 20 мм. Вироби з металів більшої товщини і при жорсткій конструкції потребують попереднього підігріву до температури 100–150°C. Задовільно зварювані сталі не схильні до утворення холодних тріщин при правильному виборі режиму зварювання.

3. **Обмежено зварювані сталі** – це вуглецеві сталі з вмістом вуглецю від 0,3% до 0,4%, низьколеговані й середньовуглецеві з вмістом вуглецю від 0,22% до 0,30%. Такі сталі схильні до утворення гартованих структур і зварюються з попереднім або супровідним підігрівом при температурі 150–350°C, який знизжує швидкість охолодження металу шва та утворює відносно м'яку мікроструктуру. При зварюванні виробів складної конфігурації й великої жорсткості необхідний загальний підігрів до температури 200–450°C. Після зварювання обов'язково проводить високий відпуск при температурі 650°C, а для відповідальних виробів рекомендують термообробку.

4. **Погано зварювані сталі** – це середньолеговані (від 3 до 6% легуючих елементів), середньовуглецеві та високовуглецеві сталі з вмістом вуглецю понад 0,22%. Такі сталі гартуються при зварюванні і тому виконують попередній та супровідний підігрів до температури 200–500°C із наступною термообробкою за режимами для даної марки сталі.

4.6. АНАЛІЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МАТЕРІАЛІВ

Якісне виконання зварювальних робіт значною мірою залежить від хімічного складу матеріалів. Це особливо проявляється при ремонтному зварюванні, де важко встановити точний хімічний склад металів і правильно підібрати зварювальні матеріали. При цьому досліджують атоми металів, роблять надрізи різальними

інструментами й щипцями, виконують проби на іскру, згинання, в'язкість. При цьому хімічний склад і марки металів, сплавів установлюють приблизно. Точне дослідження можливе тільки в хімічній і металографічній лабораторіях.

Для полегшення дослідження хімічного складу матеріалу розроблений портативний вакуумний рентгенівський флуоресцентний аналізатор (ручний сканер). За його допомогою можна провести хімічні випробування на місці, тобто зробити те, що раніше можливе було тільки в лабораторних умовах. Аналізатор має масу близько 1,6 кг і може проводити детальний аналіз складу матеріалу навіть у польових умовах.

За його допомогою можна ідентифікувати та характеризувати широкий діапазон елементів, а також виявляти хімічні елементи з низькими атомними номерами — натрій, алюміній, кремній. Особливої уваги потребує аналіз алюмінієвих сплавів, які широко використовуються в літакобудуванні й ракетній техніці.

Ручний сканер виявляє і такий «важкий» елемент, як кремній, який може бути шкідливий при зварювальних та інших термічних роботах. Такий аналіз гарантує якість і при зварюванні алюмінієвих стрижнів.

Ще одна галузь застосування сканера — перевірка якості виробів та їхня відповідність стандартам. За допомогою ручного сканера можна перевірити якість зварних швів, наявність дефектів при проведенні зварних робіт у цехах і в польових умовах. Корозія виявляється через фарбу, різні хімічні процеси можуть оцінюватися з високою точністю в режимі реального часу.

Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте зварюваність матеріалів.
2. Які є показники зварюваності?
3. На які групи за зварюваністю поділяються сталі?
4. Охарактеризуйте основні труднощі зварювання сталей.
5. Що аналізує на зварюваність сталі?
6. Назвіть особливості зварювання низькоуглецевих сталей.
7. Як зварюються середньо- і високоуглецеві сталі?
8. Як виконують аналіз хімічного складу матеріалів?

5.1. ОБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПОСТА

Зварювальним постом називається робоче місце зварника, обладнане всім необхідним для виконання зварювальних робіт. Зварювальний пост укомплектовують джерелом живлення (трансформатор, випрямач), зварювальними кабелями, електродотримачем або паличком, пристосуваннями, інструментами, засобами захисту.

Зварювальні пости можуть бути стаціонарні й пересувні.

Стаціонарні пости — це відкриті зверху кабінки для зварювання виробів невеликих розмірів. Каркас кабінки висотою 1800–2000 мм виготовляють із сталі. Для кращої вентиляції стіни кабінки підіймають над підлогою на 200–250 мм. Їх виготовляють із сталі, азбестоцементних плит, інших негорючих матеріалів і фарбують вогнетривкою фарбою (шпикові, титанові білила, жовтий крон), яка добре поглинає ультрафіолетові промені зварювальної дуги. Дверний прорізок закривають брезентовою щитом. Підлогу роблять з бетону, цегли, цементу.

Кабінки повинні освітлюватися денним і штучним світлом і добре провітрюватися. Для роботи сидячи, використовують столи висотою 500–600 мм, а при роботі стоячи — близько 900 мм. Кришку стола площею 1 м² виготовляють із сталі товщиною 15–20 мм або з чавуну товщиною 25 мм. До стола під'єднують струмопровідний кабель від джерела живлення. Поряд із столом розміщують килимки для електродів та їх відходів, інструменти (молоток, зубило, сталеве шило тощо) й технологічну документацію. Для зручності при зварюванні встановлюють металеве крісло з діелектричним сидінням. Під ногами має бути гумовий килимок, а все обладнання кабінки — надійно заземлене.

Пересувні пости використовують при зварюванні великих виробів безпосередньо на виробничих ділянках.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називається зварювальним постом?
2. Яка повинна бути кабіна зварювального поста?
3. Як обладнується зварювальний пост?
4. Чим комплектується зварювальний пост у монтажних умовах?
5. Чим відрізняється стаціонарний і пересувний зварювальні пости?

5.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Джерела живлення зварювальної дуги класифікують (табл. 5.1)

- за родом струму: змінного та постійного;
- за типами: трансформатори (Т), випрямлячі (В), перетворювачі (П), генератори (Г), агрегати (А), установки (У);
- за видом: для дугового зварювання (Д), для плазмового зварювання (П);
- за способом зварювання: для ручного, під флюсом (Ф), у захисних газах (Г), універсальні (У), в інертних газах (І), без захисту дуги (О), під флюсом та у захисних газах (ФГ);
- за кількістю постів: однопостові, багатопостові (М);
- за номінальним струмом: на 125 А; 160; 200; 250; 310; 400; 500; 630; 1000; 1250; 1600; 2000; 2400; 3150; 5000 А;
- за кліматичним виконанням: для помірного клімату (У), для помірного та холодного клімату (УХЛ), для тропічного клімату (Т);
- за категорією розміщення: для роботи на відкритому повітрі (1), для приміщень, де коливання вологості й температури мало відрізняються від відкритого повітря (2); для закритих приміщень, де коливання вологості, температури, вплив пилу менші, ніж на відкритому повітрі (3); для приміщень із штучним кліматом (4); для приміщень із великою вологістю (5).

У дужках проставлені умовні позначення елементів класифікації електрозварювального обладнання. Крім того, деякі конструктивні або технологічні особливості будови й роботи зварювального обладнання можуть мати такі позначення:

- Ш – шунтований;
 - К – з конденсатором;
 - С – зварювальний;
 - М – із механічним регулюванням струму;
 - Э – з електричним регулюванням струму;
 - Ж – із жорсткою зовнішньою вольт-амперною характеристикою;
 - П – із похилою характеристикою;
 - Б – агрегати з бензиновим двигуном;
 - Д – агрегати з дизельним двигуном;
 - И – імпульсно-дугове зварювання;
 - Ч – частотні джерела живлення;
 - П – напівавтомат;
 - А – автомат.
- Напівавтоматичне зварювання в захисних газах має такі умовні позначення:
- МІГ – зварювання в інертних захисних газах (аргон, гелій);
 - МАГ – зварювання в активних захисних газах (аугаєксісний газ).

Для умовних позначень можуть використовуватися інші літери, які означають конструктивні особливості, принципи роботи, підприємство, де виготовляється джерело живлення тощо.

Наприклад, ВДУ-506УЗ розшифровується так: В – випрямляч, Д – дуговий, У – універсальний, 50 – на номінальний струм 500 А, 6 – модифікація, У – для помірного клімату, З – для закритих приміщень, де коливання температури, вологості, вплив пилу й пилу менші, ніж на відкритому повітрі.

Обладнання, що виготовляють в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, позначають інакше. Наприклад, А-1416УХЛ4 можна розшифрувати так: А – автомат, 1416 – номер проекту, УХЛ – для помірного та холодного клімату; 4 – для приміщень із штучним регульованим кліматом.

ПШ112 розшифровується так: П – напівавтомат, Ш – шлантовий, 112 – реєстраційний номер розробки.

Таблиця 5.1

Класифікація джерел живлення



Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують джерела живлення за родом струму?
2. Які види джерел живлення постійного струму?
3. Як розшифровують умовні позначення джерел живлення?

5.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ І ВИМОГИ ДО НИХ

Для виконання основного об'єму робіт у зварювальному виробництві асують дугове зварювання. Якість цих робіт залежить від властивостей і характеристик джерела живлення, що використовується при зварюванні. На сучасному рівні зварювального обладнання представлений широкий асортимент різних типів джерел живлення зварювальної дуги. Правильний вибір того чи іншого джерела живлення буває утруднений через обмежену інформацію про особливості його конструктивного й схемного виконання, технологічні можливості та ін.

Для електродугового зварювання використовують джерела живлення змінного (одно- й трифазні зварювальні трансформатори) та постійного струму (зварювальні випрямачі, генератори, інвертори). Джерела струму характеризуються рядом параметрів, до яких відносять:

- номінальний зварювальний струм;
- межі регулювання струму;
- напруга холостого ходу;
- коефіцієнт корисної дії;
- коефіцієнт потужності;
- зовнішня характеристика джерела живлення;
- режими роботи джерела струму.

Крім цих параметрів у технічній характеристиці наводять дані про напругу мережі живлення, габарити, масу та ін.

При виборі джерела живлення керуються їх основними параметрами. Головним з них є номінальний струм. Джерела живлення для ручного зварювання розраховані на струм від 125 до 500 А, для напівавтоматичного — від 200 до 1000, для автоматичного — від 500 до 2000 і для багатостовового — від 1000 до 5000 А. Номінальний струм визначається допустимим нагріванням основних частин джерела живлення.

Крім того, основним параметром є номінальна робоча напруга, що відповідає певному значенню зварювального струму. Однополюсні джерела зі спадаючою характеристикою для ручного зварювання мають номінальну напругу від 25 до 40 В.

Важливою характеристикою є напруга холостого (неробочого) ходу, яка має бути достатньою для легкого запалювання дуги. Збудження дуги проходить легше при вискій напрузі холостого ходу джерела живлення. Залежно від умов зварювання, захисту дуги, складу електродного покриття, напруга холостого ходу знаходиться в межах від 40 до 90 В. У джерелах живлення для ручного зварювання вона має значення від 60 до 80 В. Установки для плазменного зварювання можуть мати й більш високу напругу холостого ходу.

Визначальною характеристикою джерела живлення є залежність між напругою на вихідних клеммах джерела і силою зварювального струму. Вона називається зовнішньою або вольт-амперною характеристикою джерела живлення і визначає електричні властивості джерела під час роботи.

Зовнішні характеристики (рис. 5.1) можуть бути зростаючими (1), жорсткими (2), похило- (3) та крутоспадаючими (4). Вимоги до виду зовнішніх характеристик пов'язані з особливостями зварювального процесу, для якого призначене джерело живлення (відкрита дуга, в захисному газі, під флюсом, плавкий або неплавкий електрод та ін).

Залежно від способу формування зовнішньої характеристики, вона може бути природною (за рахунок внутрішнього опору силового трансформатора або інших електромагнітних вузлів) або штучною, одержаною за допомогою електронних засобів керування. Зовнішня характеристика повинна вибиратись так, щоб при змінних довжині дуги режим зварювання не зазнавав змін.

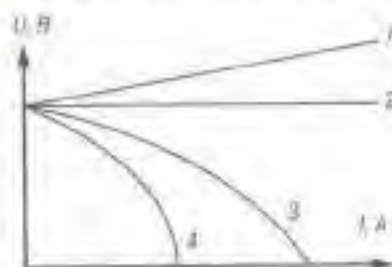


Рис. 5.1. Зовнішні характеристики джерел живлення

1 — зростаюча; 2 — жорстка; 3 — похило-спадаюча; 4 — крутоспадаюча

Джерела живлення постійного та змінного струму з крутоспадаючою характеристикою використовують для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом, автоматичного зварювання під флюсом із регулюванням швидкості подачі електродного дроту залежно від напруги дуги. Завдяки підвищеній напрузі холостого ходу забезпечується надійне початкове та повторне запалювання дуги. У випадку покриття крутоспадаючої характеристики з похило-спадаючою або жорсткою забезпечується висока стійкість горіння дуги при коливаннях її довжини (еластичність дуги), на постійному рівні підтримується сила струму й стабільна проплавлення. Струм короткого замикання порівняно невеликий, тому ризик викривлення електродного металу малий. Джерела живлення для ручного зварювання оснащені регулятором струму.

Джерела живлення з похило-спадаючою характеристикою використовують для механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах і для автоматичного зварювання під флюсом із постійною швидкістю подачі дроту, які працюють за принципом саморегулювання дуги. Великі межі коливання струму в дузі, викликані змінною її довжиною, сприяють стійкому процесу зварювання. Пояснюється це тим, що при випадковому збільшенні довжини дуги опір її зростає, а зварювальний струм зменшується, дріт буде плавитись повільніше й при постійній швидкості його подачі

обриву дуги не буде. Навпаки, при вантажовому зменшенні довжина дуги одір її зменшиться, а зварювальний струм збільниться, дріт буде плавитися швидше, а постійна швидкість подачі його забезпечить початкову довжину дуги.

У джерелах живлення для зварювання під флюсом є регулятор напруги, а сила струму, яка залежить від швидкості подачі дроту, регулюється механізмом подачі дроту. Для механізованого зварювання у вуглекислому газі застосовують джерела живлення постійного струму з похилою спадаючою характеристикою. Постійний струм зворотної полярності покращує заварювання та стійкість горіння дуги. Сила зварювального струму регулюється напівавтоматом, а напруга дуги – джерелом живлення.

У випадках, коли одночасно необхідно виконувати ручне і механізоване зварювання, застосовують універсальні джерела живлення з жорсткими, похило- та крутоспадаючими зовнішніми характеристиками.

Джерела струму повинні володіти динамічними властивостями й швидко реагувати на всі зміни струму та напруги дуги при зміні режиму її горіння. Вони будуть задовільними, якщо час відновлення напруги після завалювання дуги від 0 до 25 В не буде більший 0,05 с. В іншому разі після відриву електроди від виробу дуга може обірватися.

Робота джерел живлення проходить з періодичними вмиканнями і вимкненнями навантажень (під час обтирання шва від шлаку, при зміні електроди тощо) і характеризується тривалістю навантаження (ТН) і тривалістю вимкнення (ТВ).

Тривалість навантаження (ТН) характеризуються джерела живлення, які під час перерви не вимикаються від електромережі, а продовжують працювати на холостому ході. Це спостерігається при ручному зварюванні. Тривалість навантаження визначають за формулою:

$$ТН = \frac{t_n}{t_n + t_{сх}} \cdot 100\%,$$

де t_n – середній час навантаження (зварювання), хв; $t_{сх}$ – середній час холостого ходу, хв.

Тривалість вимкнення (ТВ) характеризуються джерела живлення, які під час перерви повністю вимикаються від електромережі. Це спостерігається при механізованих способах зварювання. Величина ТВ визначається за формулою:

$$ТВ = \frac{t_v}{t_v + t_n} \cdot 100\%,$$

де t_v – середній час перерви, хв.

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

Тривалість роботи зварювальних трансформаторів для ручного зварювання приймають рівною 5 хв, а при механізованому – 10 хв. Як правило, для ручного зварювання $t_n = 3$ хв, а $t_v = 2$ хв. Трансформатори механізованих способів зварювання виготовляють на ТВ = 60%, що означає: протягом 10 хв він буде працювати 6 хв, а 4 хв буде вивиснутий з мережі.

Максимальний зварювальний струм (I_{max}) визначається за формулою:

$$I_{max} = I_{ном} \sqrt{\frac{ТН_{ном}}{ТН_{max}}},$$

де $I_{ном}$ – номінальний зварювальний струм, А; $ТН_{ном}$ – номінальне значення тривалості навантаження, %; $ТН_{max}$ – максимальне значення тривалості навантаження, %.

Визначивши за формулою максимальний зварювальний струм, завжди можна правильно використовувати джерело живлення без перевантаження (перегрівання).

Неправильна експлуатація джерела живлення може призвести до передчасного виходу його з ладу.

Контрольні запитання та завдання

1. Якими перевагами мають відповідати джерела живлення дуги?
2. Що називають зовнішньою характеристикою джерела живлення?
3. Якою може бути зовнішня вольт-амперна характеристика?
4. Як є способи регулювання зварювального струму?
5. Охарактеризуйте джерела живлення, які використовують при механізованому зварюванні у вуглекислому газі.
6. Як вибирають джерела струму?
7. Охарактеризуйте джерела живлення дуги.

5.4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Джерела змінного струму широко використовують для ручного дугового зварювання покритими електродними, на автоматах для зварювання під флюсом, для зварювання нещавковими електродними і шертитих газів (алюміній та його сплави), у спеціальних установках і при електрошлаковому зварюванні. Джерела змінного струму порівняно дешеві й надійні у роботі.

Зварювальні трансформатори призначено для зниження напруги з 220 або 380 В до безпечної напруги, але достатньої для легкого запуску та стійкого горіння електричної дуги (не більше 80 В) і регулювання сили зварювального струму залежно від діаметра електродного дроту та товщини зварюваного металу.

Принцип дії трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Він складається з корпусу, в середині якого розміщений магнітопровід 1 (осердя), зібраний з тонких (0,5 мм) лакованих пластин електротехнічної сталі (рис. 5.2) і на якому розміщені первинна 3 та вторинна 2 обмотки. Для підвищення коефіцієнта трансформації в трансформаторах ТСК використовують батарею конденсаторів 4, яку вмикують паралельно до первинної обмотки.

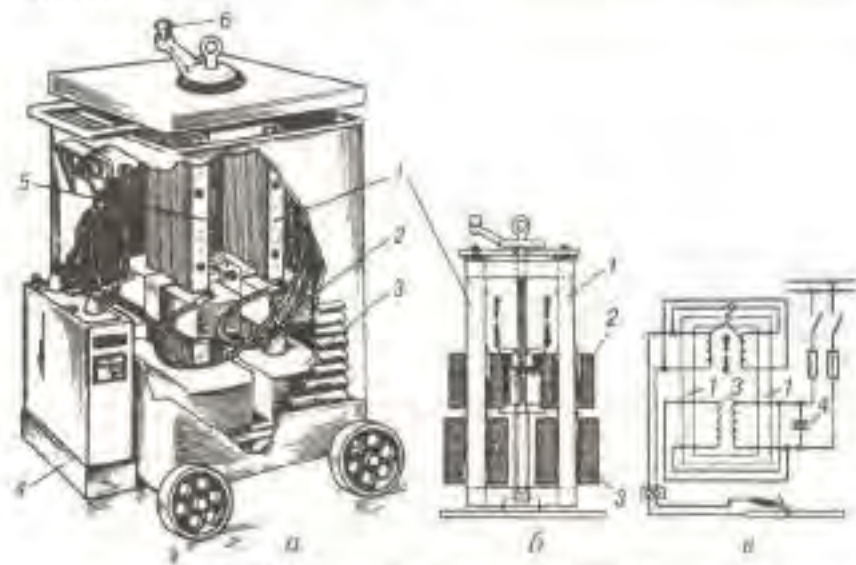


Рис. 5.2. Зварювальний трансформатор.

а — загальний вигляд; б — схема регулювання зварювального струму; в — електрична схема

Якщо по первинній обмотці з більшою кількістю витків пропустити змінний струм (напругою 220 або 380 В), то він буде намагнічувати осердя трансформатора, створюючи в ньому змінний магнітний потік. Впливаючи на вторинну обмотку з меншою кількістю витків цей магнітний потік буде створювати (індукувати) в ній змінний струм меншої напруги але більшої величини. Знижуючи за допомогою трансформатора напругу, у стільки ж разів збільшують струм у вторинному колі, який у 3–5 разів більший первинного.

Катушки первинної обмотки вмикують у мережу змінного струму, а від катушок вторинної обмотки зварювальний струм подається на електрод і арбір. У момент підключення первинної обмотки до електромережі (вторинна обмотка розімкнена) встановлюється **режим холостого (неробочого) ходу трансформатора**. Напруга вторинної обмотки при холостому ході максимальна й називають

напругою холостого ходу. Відношення напруги первинної обмотки до напруги вторинної при холостому ході називають **коефіцієнтом трансформації**. Він дорівнює відношенню кількості витків первинної обмотки до кількості витків вторинної. Таким чином у трансформаторах знижується напруга з 220 В або 380 до 60–90 В і їх називають **знижувальними**. Коли під час заляповування дуги коло вторинної обмотки замикається, то встановлюється **режим навантаження**.

Зварювальний струм регулюють зміною напруги холостого ходу й опором трансформатора.

Плаве регулювання струму можна забезпечити пересуванням рухомих обмоток за допомогою гвинтового механізму 5 (рис. 5.2) і рукоятки 6, збільшуючи або зменшуючи відстань між первинною або вторинною обмотками. При збільшенні відстані магнітний зв'язок між обмотками зменшується (збільшується індуктивний опір) і, відповідно, зменшується зварювальний струм, а при зменшенні відстані між обмотками — зварювальний струм збільшується.

Регулювання струму можна здійснювати за допомогою введення магнітного шунта між обмотками, що збільшить магнітний потік розсіювання і струм зменшиться. Змінюючи розташування шунта забезпечують плаве регулювання зварювального струму. Використовують також і верухомий магнітний шунт, який підмагнічується обмоткою керування постійного струму. Якщо в цій обмотці струм збільшиться, то магнітний опір шунта зросте, магнітний потік розсіювання зменшиться, а зварювальний струм збільшиться.

Змінюючи способи з'єднання обмоток, можна змінювати опір трансформатора ступінчасто. При послідовному з'єднанні первинних і вторинних обмоток опір трансформатора збільшується, а при паралельному з'єднанні первинних і вторинних обмоток загальний опір трансформатора зменшується. Коли використовується одна первинна і одна вторинна обмотка, то опір трансформатора стає рівним індуктивному опору. Таким чином, при зміні з'єднань обмоток, отримують три ступені регулювання, або чотирикратну зміну струму.

Для ручного дугового зварювання використовують трансформатори типу ТД, ТДП, ТСП із рухомими катушками: СТШ, ТДМ — із рухомими магнітними шунтами, а також ТСМ — із намоткою кабеля безпосередньо на кожух трансформатора для регулювання струму. Трансформатори деяких типів оснащують пристроями для зниження напруги холостого ходу із збудником-стабілізатором ВСД і конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності.

Для механізованого зварювання використовують трансформатори типу ТДФ, ТДФЖ із тиристорним регулюванням. Для електронлакового зварювання застосовують трансформатори типу ТСШ, ТРМК.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують зварювальні трансформатори?
2. Який принцип дії трансформатора?
3. Яку зовнішню характеристику повинен мати трансформатор для ручного дугового зварювання?
4. Як здійснюється ступінчасте регулювання зварювального струму в трансформаторах із рухомими котушками?
5. Як будова зварювального трансформатора із рухомими котушками?
6. Як здійснюється плавне регулювання струму в трансформаторі з рухомими котушками?
7. Якою повинна бути напрута довжина дуги?
8. Як в пристрої стабілізації дуги?

5.5. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Зварювальні випрямлячі призначені для перетворення змінного струму в постійний і живлення ним зварювальної дуги.

Випрямлячі класифікуються:

- за числом обслуговуваних постів – одно- та багатопостові;
- за числом фаз живлення – однофазні й трифазні;
- за типом вентиляції – діодні, тиристорні, інверторні;
- за способом регулювання струмом або напругою – із механічним регулюванням рухомими обмотками (типу ВД для ручного зварювання), які регулюються зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатора (типу ВС для механізованого зварювання у вуглекислому газі), з регулюванням методом магнітної комутації (типу ВСЖ), які регулюються за допомогою просола насичення (типу ВДГ), із регулюванням тиристорами (універсальні випрямлячі):

- за схемою випрямлення – однонапівперіодні, трифазні, шестифазні;
- за призначенням – для ручного дугового зварювання (зі спадячими зовнішніми характеристиками), для механізованого зварювання під флюсом (зі спадячими зовнішніми характеристиками), для механізованого зварювання у вуглекислому газі (з похислоспадаючими зовнішніми характеристиками), універсальні (для всіх видів зварювання з круто- та похислоспадаючими характеристиками).

Основними елементами випрямляча є трансформатор, регулюючий пристрій і напівпровідникові вентиля (селенові, кремнієві або германські), які проводять струм тільки в одному напрямку (рис. 5.3). Для зменшення розбризкування електродного металу та для згладжування пульсації струму у коло постійного струму деяких випрямлячів умикають дросель.

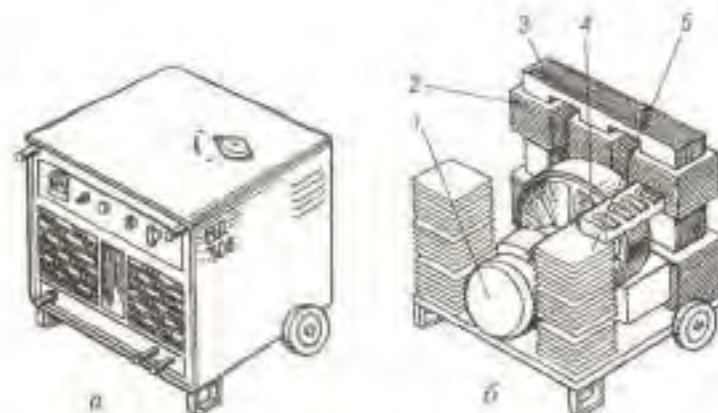


Рис. 5.3. Зварювальний випрямляч:

зовнішній (а) і внутрішній (б) вигляд; 1 — електродний; 2 — рухома котушка; 3 — осердя трансформатора; 4 — первинна обмотка; 5 — випрямний міст

Випрямлячі малих струмів (до 315 А) роблять за трифазною мостовою схемою, середніх струмів (до 500 А) — за шестифазною із зрівняльним реактором, великих струмів (понад 1000 А) — за шестифазною кілцевою схемою випрямлення.

Для ручного дугового зварювання використовуються випрямлячі типу ВД-102, ВД-201, ВД-306 Д (БУСП-ТИГ) (ТИГ-ДС), ВД-506 Д (ММА-ДС) та інші, де:

БУСП — блок керування зварювальним процесом;

ДС — постійний струм;

ТИГ — режим аргодугового зварювання негладким електридом;

ММА — режим дугового зварювання покритим електридом;

МИГ/МАГ — режим напівавтоматичного зварювання плавким електридом у середовищі захисних газів.

Для механізованого зварювання використовують випрямлячі типу ВС-300, ВДПН-301, ВСЖ-303, ВДГ-401 та ін.

До джерел живлення універсального призначення відносяться випрямлячі типу ВДУ-504, ВДУ-506С (МИГ/МАГ), ВДУ-601, ВДУ-1250 та ін., а також інверторні — «Пурс-160», ВДУ2-301УХЛ4, Рісо-140.

У багатопостових випрямлячах типу ВДМ-1001, ВДМ-1501, ВДМ-3001 та інших, струм регулюється баластним реостатом РБ-301, РБ-501, а напрута дуги при механізованому зварюванні у вуглекислому газі — баластним реостатом РБГ і дроселем ДГ-301, які з'єднані паралельно й вмикаються послідовно з дугою.

Особливістю інверторних випрямлячів є те, що трансформація (перетворення) напруги здійснюється на підвищеній частоті. Це дає

можливість змінити у 4–5 разів масу джерела живлення, у 7–8 разів збільшити устаткування, на 7–10% збільшити в.к.д., підвищити зрівнювальні властивості порівняно із звичайними джерелами живлення струму.

У тиристорних випрямлячах регулювання режиму зварювання та створення зонішних характеристик здійснюють за допомогою тиристорного зрівнювального блоку. Тиристор — це керований кремнієвий вентиль. Він має третій керуючий електрод і призначений для випрямлення та регулювання сили струму. Керування тиристорами здійснюється фазозсувним пристроєм, яким можна змінювати за фазою кут відкриття тиристора щодо початку синусоїди напруги живильної сітки і тим самим регулювати середнє значення випрямленого струму. Фазозсувний пристрій має малу потужність, а значить і невеликі розміри та масу. Випускають тиристорні універсальні випрямлячі ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601, ВДУ-1201. Для плазмового різання розроблені тиристорні випрямлячі типу ВІПТМ-500 та ін.

Для маловольової дуги з неплавким електродом на постійному або імпульсному струмі випускають транзисторні випрямлячі АП-4 та АП-5, у яких регулювання струму здійснюється транзисторами. Транзистор — це керований напівпровідниковий вентиль, в якому опір змінюється під впливом керуючого сигналу. Їх вмикать у зварювальне коло послідовно з випрямлячем. Зварювальний струм регулюється плавно та безперервно зміною струму керування транзисторів. Він не залежить від коливань напруги живильної сітки й зміни напруги на дузі. Транзисторні випрямлячі безпечні у роботі, оскільки напруга холостого ходу не перевищує 40 В. Такі джерела живлення застосовують для аргондугового зварювання вольфрамовим електродом будь-якого металу малої товщини.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують зварювальні випрямлячі?
2. Яка будова зварювального випрямляча?
3. Охарактеризуйте принцип дії випрямляча.
4. Яку зовнішню характеристику повинен мати випрямляч для дугового зварювання?
5. Для чого призначений силовий трансформатор зварювального випрямляча?
6. Яке призначення випрямного блоку?
7. Як випрямлячі називають універсальними?
8. Для чого призначений дросель насичення?
9. Як випрямлячі використовують для багатівостового зварювання?

5.6. ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

Зварювальний генератор є складовою частиною зварювальних перетворювачів і зварювальних агрегатів. Він призначений для перетворення механічної енергії привідного двигуна в електричну (рис. 5.4). Принцип дії генератора ґрунтується на законі електромагнітної індукції. Змінний струм, який утворюється у рухомій частині — якорі при обертанні у постійному магнітному полі, випрямляють за допомогою колекторної апаратури або вентильного випрямного блоку. Зварювальні генератори бувають одно- й багатівольтові. Їх виготовляють із падаючою або жорсткою зовнішньою характеристикою. Генератори, що входять до комплексу зварювальних агрегатів і перетворювачів, мають падаючу зовнішню характеристику (типу ПСО). Генератор перетворювача типу ПСТ має жорстку вольт-амперну характеристику. Універсальні генератори можуть мати падаючу й жорстку характеристики (типу ПСУ).

Генератори можуть бути з незалежним збудженням, в яких намагнічувальна обмотка живиться від стороннього джерела, і з самозбудженням, де намагнічувальна обмотка живиться від обмотки якоря паралельно навантаженню.

За способом виконання зварювальні генератори бувають однокорпусні (генератор і двигун на одному валі в одному корпусі) і роздільні (генератор і двигун розміщені на загальній рамі, а їх валів з'єднані через спеціальні муфти).

Універсальні зварювальні генератори марок ГД-304 і ГД-502 випускають без двигуна для ручного зварювання, напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі та зварювання під флюсом. Вони приводяться в дію двигуном через вал відбору потужності та редуктор.

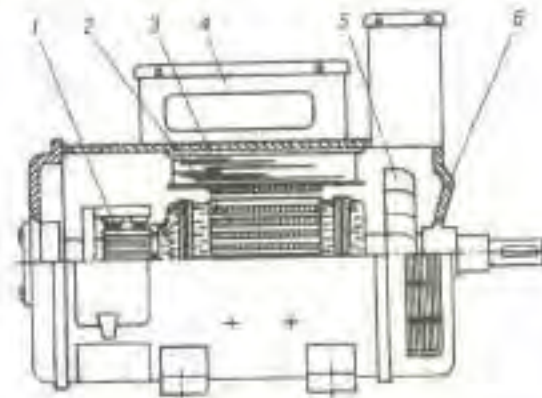


Рис. 5.4. Зварювальний генератор:

1 — колектор із струмознімачем, 2 — вір, 3 — полюс з обмоткою збудження, 4 — пристрій керування, 5 — вентилятор, 6 — корпус із підшипниковими цапками.

Вентильні зварювальні генератори ГД-311, ГД-312, ГД-314, ГД-316 складаються з генератора змінного струму та випрямного блока з кремнієвих вентилів. Вентильний генератор не має ковзних контактів і тому більш надійний в експлуатації. Крім того, він забезпечує високу стійкість горіння дуги, менше розбризкування металу, вищий коефіцієнт корисної дії, має менші розміри та масу порівняно з генераторами самозбудження типу ГСО і ГД. Вентильні генератори не мають обмоток на роторі-індукторі (рухома частина). Обмотки якоря і збудження закріплені на статорі (нерухома частина).

Контрольні запитання та завдання

1. Яка будова зварювального генератора?
2. Який принцип дії колекторного генератора?
3. Який принцип дії вентильного генератора?
4. Як регулюється зварювальний струм колекторного генератора?

5.7. ЗВАРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Зварювальний перетворювач – це машина, що призначена для перетворення змінного струму в постійний зварювальний струм.

Для ручного зварювання використовуються перетворювачі типу ПСО-300-2, ПСО-315М, ПД-502 з колекторними генераторами та ПД-305 із вентильним генератором. Для механізованого зварювання плавким електродом у вуглекислому газі використовують перетворювач типу ПСГ-500. Усі перетворювачі оснащені провідними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.

Зварювальний перетворювач ПСГ-500 (рис. 5.5) складається з генератора постійного струму ГСГ-500-1 і привідного трифазного асинхронного електродвигуна 8 типу АВ2-71-2С, розміщених на одному валу і змонтованих в одному загальному корпусі.

Генератор складається з корпусу 11, на якому закріплені магнітні полюси 10, та якоря 12, набраного з лакованих пластин електротехнічної сталі. В пазах якоря розміщені внутрішні обмотки. Початок і кінець кожної групи витків якоря припаяні до мідних пластин колектора 1. У розподільному пристрої 4 розміщені пакетний вимикач, регулювальний реостат 3, вольтметр 6, затискачі 5 та інша апаратура. Магнітне поле в генераторі створюється магнітними полюсами обмоток збудження, які живляться постійним струмом від штирок самого генератора. Коли увімкнуті електродвигун, якір починає обертатися в магнітному полі. В його витках виникає змінний струм, який за допомогою колектора перетворюється у постійний. Вугільні штички 2 знімають з колектора постійний струм,

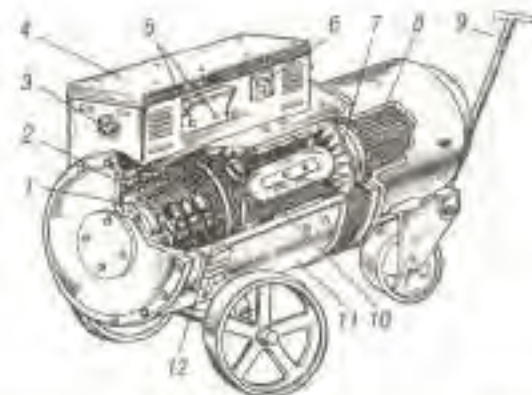


Рис. 5.5. Зварювальний перетворювач:

1 – пластини колектора; 2 – вугільні штички; 3 – регулювальний реостат; 4 – розподільний пристрій; 5 – затискачі; 6 – вольтметр; 7 – вентилятор; 8 – електродвигун; 9 – тяга; 10 – магнітні полюси; 11 – корпус; 12 – якір

який підводиться до затискачів 5 і до яких приєднуються зварювальні проводи. Для охолодження перетворювача на валі є вентилятор 7. Зварювальний струм регулюється змінною струму у колі обмоток збудження за допомогою маховика 3 реостата, при обертанні якого за годинниковою стрілкою збільшується струм в обмотках збудження, магнітний потік зростає і зварювальний струм збільшується. Коли крутнути маховик проти годинникової стрілки зварювальний струм зменшується. Для переміщення перетворювача передбачені колеса з тягою 9.

Контрольні запитання та завдання

1. З яких вузлів складається зварювальний перетворювач?
2. Який принцип дії зварювального перетворювача?
3. Який принцип дії зварювального перетворювача?

5.8. ЗВАРЮВАЛЬНІ АГРЕГАТИ

Джерелами живлення для зварювання постійним струмом є зварювальні агрегати. Вони перетворюють механічну енергію двигунів в електричну з напругою й дією струмів, необхідних для зварювання. Зварювальні агрегати використовуються в польових умовах та у випадках сильного коливання широти електромережі.

Електромашинні джерела живлення, основними вузлами яких є генератори постійного струму й привідні двигуни, класифікують:

- за *типом приводу* з бензиновим, дизельним або електричним двигуном;
- за *конструктивним виконанням генератора*: колекторні, вентильні та асинхронні;
- за *способом встановлення*: стаціонарні й пересувні.

В експлуатації зустрічаються агрегати з колекторними аварійними генераторами (хоча промисловістю вони практично не випускаються), асинхронні аварійні генератори постійного струму, а також агрегати на базі асинхронних генераторів.

До аварійних агрегатів із колекторними генераторами та бензиновими двигунами відносяться агрегати марок:

- АСБ-300-7 з колекторним генератором ГСО-300-5, змонтованих на одній рамі з двигуном внутрішнього згоряння ЗМЗ-320-01;
- АДБ-309 із генератором ГД-303 і двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДБ-311 із генератором ГД-305 і двигуном ЗМЗ-320-01;
- АСБ-300М із генератором ГСО-300М і двигуном АБ-8М «Москвич-408»;
- АДБ-318 із генератором ГД-312 і двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДБ-3120 із генератором ГД-314 і двигуном ЗМЗ-320-01;
- ПАС-400VI та ПАС-400VII із генератором СПГ-3-VI й двигуном ЗИЛ-164 (для зварювання та різання ва повітрі й під водою).

Зварювальний агрегат АДБ-311 (рис. 5.6) складається з бензинового двигуна ЗМЗ-320-51 і зварювального генератора ГД-305, змонтованих на одній рамі з чотирма амортизаторами. Генератор чотирьохполюсний з самозбудженням і послідовною розмагнічувальною обмоткою. Він має п'ять діапазонів регулювання зварювального струму, яке здійснюється вмиканням частини або повного числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки та вмиканням у коло якоря додаткових баластних опорів, розміщених на корпусі генератора. На дошці затискачів є додаткові затискачі з позначками

граничних значень струму кожного діапазону, перехідні перемітки та відповідні затискачі приєднання зварювальних кабелів. За допомогою перемітки встановлюють певний діапазон струмів. Для плавного регулювання зварювального струму в окремому кожусі вмонтований реостат.

Обертівий момент від двигуна до генератора передається за допомогою сполучної муфти. На двигуні розміщені стартер, генератор підзарядки, котушка і розподільник запалювання, свічки, датчики. Для пуску двигуна використовують акумуляторну батарею БСТ-60ЭМ.

На пульта керування розміщені вимірювальні прилади: амперкачі, розетки, тисн дросельної та повітряної заслінки, дихар підсвічуванням.

Бензиновий бак місткістю 66 л забезпечує безперервну роботу протягом 7-8 год. Маса агрегату становить 800 кг.

До зварювальних агрегатів із дизельними двигунами відносяться агрегати марок:

- АДЛ-303 з генератором ГСО-300-12 і двигуном Д144;
- АДЛ-305 із генератором ГД-310 і двигуном Д144;
- АДЛ-3112 із генератором ГД-3120 і двигуном Д144;
- АДС-300М із генератором ГСО-300 і двигуном 4 ч 8,5/11;
- АСД-300Т із генератором ГД-309 і двигуном 4 ч 8,5/11;
- АДЛ-304 із генератором ГД-307 і двигуном 4 ч 8,5/11;
- АСДП-50 та АДС-3-1 із генераторами СПГ-3-VIII і двигунами ЯАЗ-М204Г;
- АСДП-500Г із генератором ГСМ-500 і двигуном ЯАЗ-М204Г.

Дизельні агрегати можуть бути одно- й багатопостові, стаціонарні та пересувні, їх встановлюють на майданчиках, у кузовних автомобілів, на причепах. До складу зварювального агрегату входить дизельний двигун, зварювальний генератор, з'єднувальна муфта, реостат для регулювання зварювального струму, пульт керування, паливний бак, акумуляторна батарея, капот.

До зварювальних агрегатів із вентиляторними генераторами відносяться агрегати марок:

- АДБ-3120 із вентиляторним генератором ГД-314 і бензиновим двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДЛ-501 із двофазним вентиляторним генератором і дизельним двигуном Д144;
- АДБ-3122 із вентиляторним генератором ГД-3121 і бензиновим двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДЛ-4002 із генератором ГД-4002 і двигуном Д144;
- АДЛ-3114 із генератором ГД-3122 і двоциліндровим дизельним двигуном Д214А;
- АДЛ-4×2501 із чотирьохпостовим генератором і дизельним двигуном Д240.

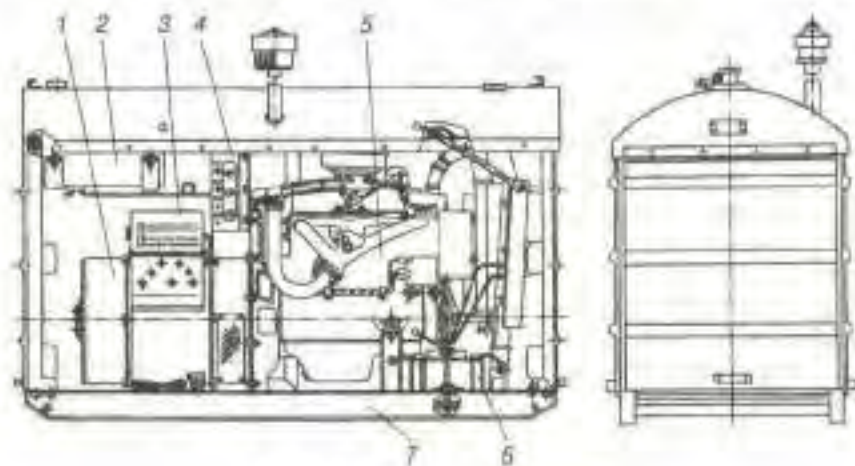


Рис. 5.6. Зварювальний агрегат:

1 — зварювальний генератор; 2 — паливний бак; 3 — реостат (дошки затискачів); 4 — пульт керування; 5 — двигун; 6 — акумулятор; 7 — рама

Для зварювання і різання під водою використовують агрегати з електроприводом таких марок:

- САМ-300 із генератором ГСО-300М і двигуном постійного струму П-62М;
- САМ-400 із генератором СП-3-V і двигуном постійного струму ПН-290;
- САМ-400-1 із генератором СП-3-V і трифазним асинхронним двигуном типу МАФ-82-73/4;
- АСУМ-400 із генератором ГСУМ-400 і двигуном змінного струму типу МАФ-82-73/4.

Контрольні запитання та завдання

1. З яких вузлів складаються агрегати?
2. Які є види агрегатів?
3. Які двигуни використовуються в зварювальних агрегатах?
4. Яка будова зварювального агрегата з колекторним генератором і бензиновим двигуном?
5. Навіть агрегати з дизельним двигуном.

5.9. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для імпульсно-дугового зварювання плазмою електродом в інертних газах використовуються спеціалізовані випрямлячі ВДГМ-302 та на його базі напівавтомат ПДН-303 й спеціальні генератори імпульсів типу ІИП-1 (для зварювання алюмінію, міді, титану в аргоні); ІИП-2, ГИ-ИДС-1, ГИД-1 (для зварювання сталей, кольорових металів і сплавів в аргоні, гелію, азоті та суміші аргону в кінем). Ці джерела живлення мають крутоспадні зовнішні характеристики для малих струмів, пологоспадні – для середніх і жорсткі – для великих. Імпульсні характеристики є жорсткими.

Особливістю живлення дуги при імпульсно-дуговому зварюванні є те, що крім зварювального струму постійної величини в дугу паралельно подають короточасні імпульси струму силою 1000 А і більше. Це призводить до того, що в дузі відбувається перенесення металу з частотою, кратною частоті імпульсів (50 або 100 Гц). При цьому підвищується продуктивність процесу і зменшуються зварювальні деформації, забезпечується якісне формування шва та можливість зварювання у всіх просторових положеннях, відновлюються механічні властивості зварних з'єднань.

5.10. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОВОЇ ДУГИ

Для живлення плазмової дуги призначені стандартні зварювальні випрямлячі (типу ВДУ, ВСВУ), перетворювачі (типу ПСО) з крутоспадними характеристиками. Вони забезпечують постійний за величиною струм плазмової дуги, а значить і високу якість зварювання або різання. Вимоги щодо джерел живлення зумовлені особливостями плазмової дуги. В результаті шквального стиснення стовпа дуги рідиною або інертним газом у плазмотронах стискає плазма, температура якої може досягати 30 000°C. Якщо робоча напруга плазмотрона перевищує номінальну напругу джерела живлення, необхідно послідовно з'єднувати два або три однакових джерела. При послідовному з'єднанні генераторів їх обмотки абуджерел також з'єднуються послідовно і живляться від загального випрямляча, що забезпечує постійний режим роботи генератора.

Для плазмо-дугового (ручного й механізованого) різання передбачені випрямлячі з робочими струмами 400 А, 630 і 1000 А, робочою напругою від 65 до 350 В і напругою холостого ходу від 90 до 500 В (безпека робітника при високій напрузі забезпечується конструкцією плазмотрона).

До спеціальних джерел живлення плазмової дуги відносяться випрямні установки УСП-201, УСП-301, УСП-404, УСП-501 та інші з вертикальними зовнішніми характеристиками. До комплексу установки входять: джерело живлення, плазмотрон, шафа керування, осцилятор, переносний блок керування, газове й водяне обладнання.

Апарат АМ-1 призначений для мікроплазмового зварювання тонких металів вольфрамовим електродом. Регулювання струму проводиться від 0,5 до 15 А при зміні робочої напруги від 0 до 60 В.

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблені джерела живлення для імпульсно-мікроплазмового зварювання металів товщиною до 3 мм (МПУ-5) і для металів товщиною від сотих часток міліметра до 1 мм (МПИ-3).

Для плазмового різання використовуються випрямлячі типів ІПГ-500, ІПР-120/500 та ін.

5.11. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МАЛОАМПЕРНОЮ Й ТРИФАЗНОЮ ДУГОЮ

Для зварювання на малих струмах використовуються транзисторні джерела живлення з крутоспадною, а в деяких випадках вертикальною (штиковою) зовнішніми характеристиками. Транзистори змикаються послідовно в коло дуги і призначені для плавного регулювання зварювального струму шляхом зміни струму бази транзисторів.

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблені транзисторні джерела живлення типу АП-4, АП-5, АП-6 для аргонодугового зварювання неплавким електродом. Вони складаються з силового трифазного трансформатора, випромінюючого блока, блока транзисторів і керування, генератора імпульсів і запалюючого пристрою з осцилятором. Діапазон зварювального струму від 0,5 до 300 А забезпечує зварювання металів товщиною від десятків мікрон до декількох міліметрів.

Для зварювання трифазною дугою використовуються спеціальні трифазні трансформатори, перевагою яких є рівномірне навантаження всіх трьох фаз мережі живлення. Процес зварювання здійснюється двома електродоми, ізольованими один від одного за допомогою спеціального тримача, в якому навідрі струму до кожного електрода виконується автономно від двох фаз. Третя фаза підключена до виробу. За такою схемою одночасно горять три дуги: дві між електродоми і зварюваним виробом, третя – між електродоми.

Для ручного, автоматичного і електрошлакового зварювання призначені трифазні трансформатори типу ТСШ-1000-3, ТСШ-3000-3 та ін. Вони виготовлені на базі двох однофазних трансформаторів. Підключають трансформатор у зварювальне коло шляхом під'єднання зварювальних кабелів до крайніх клем вторинних обмоток і проводу від виробу до середньої клемі.

Метод зварювання трифазною дугою порівняно зі зварюванням однофазною дугою дозволяє підвищити продуктивність зварювальних робіт і зменшити витрати електроенергії.

5.12. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Для зварювання неплавкими електродоми використовують джерела живлення з крутопадаючою зовнішньою характеристикою постійного та змінного струмів. У якості джерел живлення постійного струму застосовують тиристорні випрямлячі ВДУ-305, ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-601, а змінного струму – зварювальні трансформатори з підмагнічуванням шунтом. Частіше використовують джерела постійного струму. На прямій полярності більше теплоти віддається на основному металі, що збільшує термін дії вольфрамового електрода, підвищує стабільність горіння дуги. Джерела змінного струму використовують для зварювання алюмінію, сплавів магнію і берилію. Враховуючи те, що при змінному струмі полярність змінюється з його частотою, то на прямій полярності проходить плавлення металу, а на зворотній – катодне руйнування тугоплавкої оксидної плівки, що перешкоджає зварюванню.

Для уникнення утворення кратера наприкінці зварювання до складу джерел живлення входить спеціальний пристрій, який знижує зварювальний струм і забезпечує заварювання кратера. У деяких джерелах живлення на початку зварювання забезпечується плавне зростання струму, щоб уникнути руйнування вольфрамового електрода.

Для зварювання неплавким електродом в інертних захисних газах хімічно активних металів і сплавів (алюмінію, титану, магнію, нерозчинних сталей) використовують спеціальне устаткування. При ручному зварюванні до нього входить установка і паливник, а при автоматичному – установка, зварювальна головка, пристрій переміщення головки, апаратура керування. Для зварювання на постійному струмі призначені установки УСП-301, УДГ-1601, на змінному – УДГ-301-1, УДГ-501-1. Універсальні установки УДГУ-122, УДГУ-301 призначені для зварювання на постійному й змінному струмі. Установка складається з джерела живлення, апаратури стабільності горіння дуги, керування процесом зварювання та газового обладнання.

5.13. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Паралельне з'єднання джерел живлення застосовують тоді, коли сила зварювального струму одного джерела недостатня для зварювання. Паралельно можна з'єднувати зварювальні трансформатори й генератори. Паралельне з'єднання випрямлячів застосовують рідко.

При паралельній роботі зварювального обладнання необхідно виконувати такі вимоги:

- зовнішні характеристики джерел живлення повинні бути подібні;
- з'єднувані джерела мають бути одного типу та з однаковими номінальними даними (зварювальний струм, напруга холостого ходу, частота обертання двигуна та ін.);
- у колі низької напруги має бути встановлений рубильник для окремого регулювання напруги холостого ходу;
- контроль рівності струмів і напруги холостого ходу повинен здійснюватися амперметром і вольтметром;
- для запобігання переходу струму від генератора з високою напругою до генератора з низькою напругою їх підключають із перехресним з'єднанням обмоток обудження;
- правильність з'єднання обмоток перевіряють контрольным ліхтарем або вольтметром (якщо обмотки з'єднані правильно, то ліхтар не горить або стрілка вольтметра стоїть на нулі);
- замиканням рубильника включають джерела на паралельну роботу.

Нині використовують джерела живлення великої потужності, тому паралельне з'єднання джерел застосовується рідко.

Контрольні запитання та завдання

1. Які джерела живлення використовують для імпульсно-дугового зварювання?
2. Яке обладнання застосовують для плазмового зварювання і різання?
3. Які джерела живлення використовують для зварювання маломітровою та трифазною дугою?
4. Які приставки призначені для зварювання асплавними електродом?
5. У яких випадках застосовують паралельне з'єднання джерел живлення?

5.14. ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРИЛАДДА ЕЛЕКТРОЗВАРНИКА

Зварювальні пости комплектують джерелом живлення, електродотримачем, зварювальними проводами, щитком з світлофільтром, різними інструментами для зачищення й вимірювання та іншим приладдям.

Електродотримач – це пристосування для закріплення електродів і підведення до них струму (рис. 5.7). За конструкцією електродотримачі поділяють на:

- важільні – ЭР-1 (зварювальний струм 300 А), ЭР-2 (500 А);
- пасатижні – ЭП-2 (250 А), ЭП-3 (500 А), ЭД-1201 (125 А), ЭД-3102 (315 А), ЭД-5001 (500 А);
- зачіпні – ЭДС-1201 (125 А), ЭДС-3101 (315 А), ЭУ-3001 (315 А), ЭУ-5001 (500 А);
- гвинтові – ЭВ-2 (125 А), ЭВ-3 (315 А), ЭВ-4 (500 А).

Електродотримачі мають відповідати таким вимогам:

- забезпечувати надійне затискання електродів;
- допускати затискання електрода не менше ніж у двох положеннях – перпендикулярно та під кутом не менше 1150 до осі електрода;
- забезпечувати швидку й легку зміну електродів (4 с);
- струмоведучі частини повинні бути надійно ізольовані від випадкового дотику із зварюваними виробами або руками зварника;

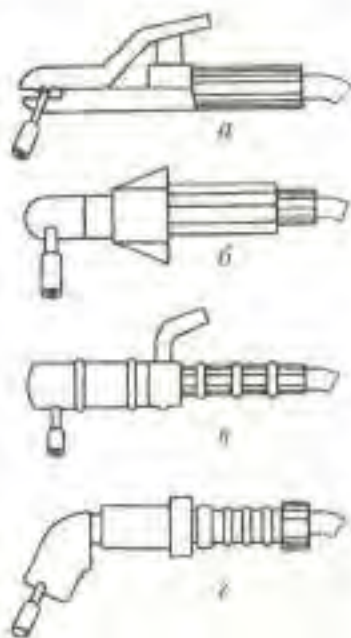


Рис. 5.7. Електродотримачі:
а – пасатижний; б – гвинтовий;
в – важільний; з – зачіпний

- опір ізоляції має бути не менше 5 МОм;
- рукоятка має бути виготовлена з ізоляційного матеріалу довжиною не менше 120 мм;
- штирець перерізу рукоятки повинен виступати у коло діаметром не більше 40 мм.

Застосовують саморобних електродотримачів забороняється.

Електродотримачі повинні витримувати без ремонту 8 тис. затискань.

Проводи (кабелі) призначені для з'єднання електродотримачів (пасатижків) із джерелами живлення та підведення зварювального струму. Використовують гнучкі проводи з мідними або алюмінієвими жилами й гумовою ізоляцією марок РГД, РГДО, РГДВ, КРПГН, КРПТН, КРПСН, ПРН. Довжина кабелю при монтажних роботах може становити 40–50 м, але в таких випадках буде значний спад напруги. Допустимим вважається спад напруги до 4 В. Якщо спад напруги більший за допустимий, то джерело живлення наближають до місця зварювання або збільшують переріз зварювального проводу.

Переріз кабелів вибирають залежно від сили зварювального струму із розрахунку 5–7 А/мм² (табл. 5.2). Кабель складається з великої кількості відпалених мідних дрітків діаметром 0,18–0,20 мм та буває одно- і двожилийний.

Таблиця 5.2

Сила струму, А	Площа поперечного перерізу зварювальних проводів	
	одинарного	подвійного
125	25	–
315	50	2×16
500	70	2×25

Зменшення перерізу кабелю призводить до перегрівання й швидкого руйнування ізоляції.

Для з'єднання частин зварювальних кабелів між собою використовують спеціальні муфти марок МС-2, МСБ-2, М-315, М-500 та ін. Для нероз'ємного з'єднання кабелів застосовують з'єднувачі типу ССП-2. До джерела живлення кабель можна підключити через приєднувальну муфту МС-3. Зворотний кабель приєднують клемми заземлення типу КЗ-2 та КЗП-12. Зворотним проводом можуть служити сталеві панци, зварювальні плити, стелажі й сама конструкція, якщо їх переріз забезпечує безпеку за умовами нагрівання проходження зварювального струму. Окремі елементи, які використовуються в якості зворотного проводу, повинні бути з'єднані між собою болтами, струбцинами або затискачами. При проведенні зварювальних робіт у пожежо- і вибухобезпечних приміщеннях

Світлофільтри, рекомендовані при дуговому зварюванні

Дугове зварювання металевим електродом

Сила струму, А	15	30	60	150	275	350	600	700	900
Позначення світлофільтра	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11

Дугове зварювання важких металів металевим електродом у середовищі інертних газів

Сила струму, А	20	30	50	80	100	200	350	500	700	900
Позначення світлофільтра	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12

Дугове зварювання легких сплавів металевим електродом у середовищі інертних газів

Сила струму, А	15	30	50	90	150	275	350	600	800
Позначення світлофільтра	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12

Дугове зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертних газів

Сила струму, А	10	15	20	40	80	100	175	275	300	400	600
Позначення світлофільтра	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13

Дугове зварювання металевим електродом у CO₂

Сила струму, А	30	60	100	150	175	300	400	600	700	900
Позначення світлофільтра	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10

Плазмове зварювання і різання

Сила струму, А	30	50	100	175	300	350	500	700	900
Позначення світлофільтра	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13

Повітряно-дугове поверхневе різання, зварювання й виплавлення

Сила струму, А	500	700	900
Позначення світлофільтра	C-11	C-12	C-13

Робітники, які виконують допоміжні роботи, для захисту очей використовують світлофільтри типу В (В-1, В-2, В-3).

Сучасна індустрія охорони праці у зварювальному виробництві пропонує великий вибір зварювальних масок. Вони мають зручну конфігурацію, малу масу, забезпечують тепловий захист голови і захист очей від світлового випромінювання зварювальної дуги. Практично у всіх масках забезпечене швидко автономне затемнення оглядового вікна залежно від величини зварювального струму (рис. 5.9).

зворотині провід від виробу до джерела живлення має бути тільки ізоляованим. Не допускається з'єднання проводів на скрутках. В обертових виробках для під'єднання зворотного кабелю використовують кований контакт. Довжина проводів між живильною мережею і пересувними зварювальними агрегатами не повинна перевищувати 10 м. Проводи (кабелі) слід захищати від механічних пошкоджень, контакту з водою, маслами, сталевими канатами, шлангами з горючими газами і гарячими трубопроводами.

Для роботи зварника випускаються спеціальні комплекти (КН-125, КН-315, КН-500), які містять електродотримачі, сполучну муфту, аварювальний кабель, запасні частини до електродотримача, світлофільтри, застоскачі, шлаковіддільник, металеву шітку. Виготовляють також набори інструментів ЗНН-300 та ЗНН-300/1 до комплекту яких входять електродотримач, клема азевлення, сполучна муфта, шітка-зубило, викрутка, плоскогубці, розвідний ключ, клеймо, молоток, світлофільтри, відрізок кабелю (3 м).

Для виконання зварювальних робіт зварник повинен мати й допоміжний інструмент: молоток, зубило, напилка, сталеву шітку, шаблони, кутник, метр, висок, лінійку. Інколи аварювальний пост обладнують шліфувальною машинкою, спеціальними кромокорізами, дрелями та ін. Інструменти та електроди слід зберігати в ящиках, сумках або пеналах. Для просушування електродів використовують спеціальні печі, паяні й основи.

Для захисту очей та обличчя зварника від променів електричної дуги і бризок розплавленого металу застосовують шітки або маски із спеціальними світлофільтрами (рис. 5.8). Їх виготовляють із чорної фібри або спеціальної пластмаси. Залежно від сили зварювального струму шітки й маски оснащені світлофільтрами, які виготовляють із тривало-стийкого скла марки ТС-3С двох видів: світлофільтри для нормального огляду (розмір 52×102 мм) і збільшеного (90×102 мм) з товщиною від 1,5 до 4,0 мм. Із зовнішнього боку світлофільтри захищають від бризок розплавленого металу виконаним склом товщиною 2,5 мм, яке при забрудненні міняють. Категорично забороняється

замінювати світлофільтри саморобним пофарбованим склом. Світлове випромінювання дуги має послаблюватися світлофільтрами в 102–106 разів. Нині в СНД використовують світлофільтри серії С, які поділяються на 13 класів. Вони забезпечують захист очей від випромінювання при зварюванні на струмах від 5 до 1000 А. Світлофільтри підбирають залежно від характеру робіт та сили зварювального струму (табл. 5.3).

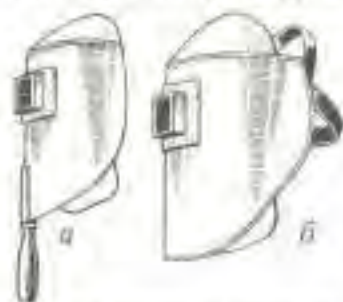


Рис. 5.8. Шітка (а) і маска (б) електрозварника

Інститут лазерних технологій та приладобудування розробив і виробив автоматичний світлофільтр АСФ «Хамелеон». При використанні автоматичного світлофільтра зварник може виконувати всі операції, не піднімаючи маску. АСФ «Хамелеон» має потенціометр для плавного регулювання величини затемнення. Електроживлення комбіноване від літєвого елемента і сонячної батареї. Час вмикання затемнення залежно від температури навколишнього середовища становить 0,1–1,0 мс.

Протягом останніх років в конструкції зварювальних масок виник новий напрям – художній стиль (рис. 5.10). Нові маски забезпечують не тільки комфортність і безпеку зварника, але й одночасно привертають до них увагу інших працівників, дозволяють розривити зварників під час роботи.



Рис. 5.10. Серія індивідуальних зварювальних масок

Для захисту від теплових опіків зварник повинен працювати у вогне- і термостійкому одязі, рукавицях, взутті. Куртку і штани ши-



Рис. 5.9. Класична зварювальна маска з автономним затемненням оглядового вікна

ють абреженту, сукна, замші. Кишені мають закриватися клапанами, кінці рукавів рекомендується зав'язувати, штани носити тільки на-впуск. Голова повинна бути захищеною головним убором, а при монтажних роботах – шоломом (каскою). Для зменшення шкідливого впливу на організм зварника пилу, шкідливих виділень, аерозолей застосовують місцеву та загальну вентиляцію, індивідуальні респиратори.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називають електродотримачем?
2. Назвіть види електродотримачів?
3. Які вимоги ставляться до електродотримачів?
4. Які зварювальні кабелі використовуються для обладнання зварювального поста?
5. Як повинно виконуватися з'єднання кінців зварювальних кабелів між собою?
6. Як вибирають переріз зварювального проводу?
7. Для чого призначені зварювальні щитки і маски?
8. Як підбирають світлофільтри?
9. Якими інструментами користується зварник при виконанні зварювальних робіт?
10. Які основні вимоги до одягу зварника?

5.15. ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Обслуговування та ремонт зварювального обладнання виконують за єдиною системою планово-запобіжного ремонту, що включає міжремонтне обслуговування, планові профілактичні огляди, плановий малий, середній і капітальний, а також позаплановий ремонт. Всі роботи з обслуговування і ремонту виконуються відповідно до рекомендацій та вимог експлуатаційної документації обладнання. Тому зварник зобов'язаний ознайомитися із технічною документацією, що входить до комплексу зварювального устаткування, й керуватися правилами технічного обслуговування при його експлуатації. Для збереження обладнання, інструментів, оповіщення зварювального поста та відповідальності за правильну їх експлуатацію за зварником або бригадиром закріплюють устаткування, що оформлюють спеціальним актом.

Міжремонтне обслуговування включає усунення дрібних несправностей, заміну швидкозношуваних частин, перевірку й регулювання механізмів і приладів, заміну мастила, контроль за виконанням правил експлуатації обладнання.

Планово-профілактичний огляд виконують для перевірки технічного стану, усунення дрібних несправностей, виявлення дефектів, які підлягають усуненню при черговому плановому ремонті.

Плановий малий ремонт проводять на робочому місці, де експлуатується обладнання. Він включає заміну та ремонт спрацьованих деталей, перевірку електричної схеми, кріпильних деталей, кількості й якості мастил.

Плановий середній ремонт включає всі роботи малого ремонту та додатково відновлення несправних частин, очищення трансформаторів, генераторів, двигунів, перевірку ізоляції, заміну мастил редукторів, підшипників.

Капітальний ремонт передбачає повне розбирання зварювального обладнання, ремонт або заміну окремих вузлів і деталей, складання після ремонту, регулювання й випробування з навантаженням. Його виконують на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Чергування ремонтних робіт установлюється відповідно до умов експлуатації зварювального обладнання. Вчасний ремонт і правильна експлуатація подовжують термін використання, надійність і довговічність зварювального обладнання. Для цього зварник повинен проводити щоденні й періодичні тяжки.

Перед початком роботи слід ретельно перевірити заземлення та зовнішній стан устаткування для виявлення випадкових пошкоджень.

При періодичному обслуговуванні раз на місяць обладнання очищують від пилу, бруду, протирають ганчіркою і продувають стисненим повітрям, а також перевіряють стан і надійність електричних контактів. Один раз на 3 міс перевіряють опір ізоляції (метрометром), стан конденсатора та елементів електричної схеми. Раз на 6 міс очищують контакти перемикачів діапазона струму від мідного дилу, змащують мастилом ЦИАТИМ-201 контакти, а мастилом УТ-1 – третю частину обладнання. У випадку виявлення несправностей при технічному обслуговуванні викликають наладника й повідомляють майстра, який разом зі зварником несуть відповідальність за правильну та безпечну експлуатацію зварювального устаткування. Зварнику забороняється працювати на несправному обладнанні та ремонтувати його.

Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте умови обслуговування джерел живлення.
2. Як проводити щоденне обслуговування обладнання?
3. Які переділ робіт при періодичному обслуговуванні джерел живлення?

6.1. ВИДИ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Електрод – це металевий або неметалевий стрижень, призначений для підведення струму до зварювальної дуги. При ручному дуговому зварюванні використовують покриті електроди. Це покриті спеціальною обмазкою стрижні круглого перерізу різного діаметра. Для напівавтоматичного та автоматичного зварювання використовують зварювальні порошкові й самозахисні дроти різних марок і діаметра.

Електроди можуть бути плавкі й неплавкі. Плавкі електроди виготовляють із сталі, чавуну, міді, алюмінію, їх сплави тощо; неплавкі – із вольфраму та його сплавів, верфіла та графіту.

Плавкі електроди одночасно є й присадкувальним матеріалом. Неплавкі електроди тільки підводять зварювальний струм до дуги, а присадкувальний метал при необхідності подають окремо.

6.2. ДРОТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ

6.2.1. Сталевий зварювальний дріт

Сталевий зварювальний дріт призначений для всіх видів зварювання плавленням і виготовлення електродів (ГОСТ 2246-70). Стандарт поширюється на холоднокатаний гладкий дріт із низьковуглецевої й легированої сталі, що поставляється в мотках із внутрішнім діаметром від 150 до 750 мм, масою від 1,5 до 40 кг. Кожний моток перев'язують м'яким дротом у трьох місцях. Мотки однієї партії зв'язують у бухти масою не більше 80 кг. Кожний моток обортають вологонепроникним папером і маркують металевим биркою, на якій вказують назву заводу, умовне позначення дроту, клеймо технічного контролю. За угодженням із постачальниками, дріт може надходити в мотках прямокутного перерізу на катушках і касетах.

Якість дроту контролюють на відсутність іржі, масла, графітового мастила. Бірку на мотках не знімають до повного використання дроту. Зберігають дріт у сухих приміщеннях, захищених від атмосферних опадів, забруднень. Для захисту від іржі та для кращого електричного контакту випускають обмішаний зварювальний дріт.

У дротах із низьковуглецевої сталі вміст вуглецю доходить до 0,12%. Зварювальний дріт марок Св-08, Св-08А, Св-08АА виготовляють із квіт'яної сталі (Si < 0,03%), а марки дроту Св-08ГА, Св-10ГА і Св-10Г2 – з наївшпкійшої сталі. У квіт'яних сталях концентрація вуглецю вища ніж кремнію, що сприяє утворенню СО і СО₂ при високих температурах і кращому їх відтоку із зварної ванни ще до повного застудіння металу шва. Дроти із спокійної сталі викликають пористість (гази СО і СО₂ залишаються у вигляді домішних відкритих пор), менше пропалення, сильне розбризкування і гірше формування шва. При газовому та електродуговому зварюванні охолодження зварної ванни відбувається повільно, тому використання дроту із спокійної сталі пористості не викликає.

Для зовнішнього зазору між кромками зварюваних деталей та утворення велика шва у зварну ванну вводять присаджувальний метал у вигляді дроту, прутків, який за хімічним складом повинен бути таким же, як і основний метал. Не можна зварювати метал дротом невідомої марки.

Для покращення властивостей металу шва в присаджувальний метал додають легуючі елементи.

Сталевий низьковуглецевий, легований та високолегований зварювальний дріт виготовляють діаметром 0,3 мм; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 мм (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Сталевий зварювальний дріт (ГОСТ 2246-70)

Дріт	Марка дроту
Низьковуглецевий (6 марок)	Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2
Легований (30 марок)	Св-08ГГ, Св-12ГГ, Св-08Г2Г, Св-10ГН, Св-08ГСМГ, Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-19НМА, Св-06МХ, Св-06ХМ, 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-08ХН2ГМК2, Св-08ХН2Г2СМ10, Св-06НЗ, Св-10Х3М
Високолегований (41 марка)	Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х18Н9М2, Св-06Х18Н9Г2Е, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-02Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-06Х19Н10М3Т, Св-04Х19Н11МБ, Св-06Х20Н11М3ТБ, Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н12Г2Т, Св-06Х25Н12ТЮ, Св-08Х25Н13БТЮ, Св-13Х25Н15, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-08Х21Н10ГБ, Св-20Х25Н16Г, Св-10Х16Н25АМ6, Св-09Х16Н25М6АФ, Св-01Х23Н28М3Д3Т, Св-30Х15Н35Б3Б3Т, Св-08Н30, Св-06Х15Н60М15, Св-08Х14ГНТ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х18Н9Ф2С2, Св-05Х20Н9Ф6С

Позначення зварювального дроту складається з букв і цифр. Букви Св означають зварювальний, цифри після букв вказують на вміст вуглецю в сотих частках відсотка.

Наступні букви – умовні позначення легуючих елементів, а цифри після них – вміст легуючого елемента у відсотках. Відсутність цифр означає, що даного елемента в дроті близько одного відсотка. Буква А в кінці умовного позначення вказує на підвищену чистоту металу, а старена буква (АА) вказує на понижений вміст сірки й фосфору порівняно з дротом, у позначенні якого одна буква А. Якщо дріт обміднений, то в кінці марки ставлять букву О.

Наприклад, марка дроту Св-08ГА розшифровується: Св – зварювальний дріт, 08 – 0,08% вуглецю, Г – 1% марганцю, А – підвищена чистота металу дроту.

Присаджувальний метал повинен відповідати таким вимогам:

- температура плавлення присадки повинна бути не вищою від температури плавлення основного металу;
- поверхня дроту і прутка повинна бути рівною і чистою;
- присаджувальний метал повинен плавитися спокійно, без розбризкування;
- вміст шкідливих домішок у присаджувальному металі повинен бути мінімальним.

6.2.2. Самозахисний дріт

Самозахисний дріт суцільного перерізу без додаткового захисту використовують у монтажних умовах (на вітрі й протігах), а також у певних умовах, коли неможливе використання захисних газів.

При зварюванні відкритою дугою виторяють легуючі елементи й шов настигається повітрям. У самозахисному дроті виторяння компенсується за рахунок підвищеного вмісту елементів, які більше споріднені з киснем, ніж ті, що виторяють. Такими елементами є алюміній, титан, церій, цирконій, лантан, селен та ін. За їх допомогою кисень й азот зв'язуються у стійкі неметалеві сполуки, що майже не впливають на зниження пластичності та в'язкості металу шва.

Для механізованого зварювання використовують самозахисні дроти таких марок:

Св-20ГСТЮА – для зварювання вуглецевих сталей (додають церій);

Св-15ГСТЮЦА – для зварювання вуглецевих і легованих сталей (додають церій та цирконій).

Самозахисним дротом можна зварювати метали, покриті іржею, маслом, окисною (Fe₂O₃). Якість металу шва, яку одержують при зварюванні самозахисним дротом, порівнюють до якості шва, виконаного електродом типу Э46 та Э50.

6.2.3. Дроти й прути для зварювання та наплавлення чавуну

При зварюванні та наплавленні чавунів використовують чавунні прути, відлиті з сірого чавуну. Промисловість випускає прути таких марок:

- А — для гарячого зварювання чавуну;
- В — для зварювання чавуну з міцним підгірвом (діаметром 4 мм, 6, 8, 10, 12 мм);
- НЧ-1 — для низькотемпературного зварювання тонкостінних відливок;
- НЧ-2 — для низькотемпературного зварювання товстостінних відливок;
- БЧ; ХЧ — для зносостійкого наплавлення чавунів;
- ПАНЧ-11 (самозахисний) — високонікелевий сплав для холодного зварювання та зварювання дефектів тонкостінних деталей з сірого, ковкого й високоякісного чавунів (за постійному струмі прямої полярності).

При зварюванні чавунів широко застосовують порошкові самозахисні дроти марок:

- ПП-АНЧ2; ППЧ-3 — для гарячого зварювання крутих дефектів, які не піддаються поверхневому гартуванню;
- ППЧ-3М; ППЧ-6 — для гарячого зварювання крутих дефектів, які підлягають поверхневому гартуванню;
- ППЧВ-1 — для гарячого зварювання дефектів рідкого й напіврідкого ванною або ваннами;
- ППАНЧ-5 — для гарячого зварювання дефектів вантисами або напіврідкою ванною;
- ППЧН-7 — для холодного зварювання наскрізних і ненаскрізних дефектів на оброблених поверхнях;
- ППЧМН-8 — для холодного зварювання ненаскрізних дефектів на оброблених поверхнях.

Порошкові дроти для зварювання чавуну застосовують без додаткового захисту, використовуючи постійний струм зворотної полярності (300–500 А).

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке електрод?
2. Як бувають електроди?
3. Для чого призначений сталевий зварювальний дріт?
4. Яке умовне позначення зварювального дроту?
5. Які дроти і прути використовують для зварювання та наплавлення чавуну?

6.3. ДРІТ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ

6.3.1. Дріт для зварювання алюмінію та його сплавів

Для зварювання алюмінію та його сплавів випускають дроти діаметром (мм): 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 12,0. Нині ГОСТ 7871-75 передбачає випуск 14 марок дроту:

- Св-А97, Св-А85Г, Св-А3 (технічний алюміній);
- Св-АМц (алюмінієво-марганцевий);
- Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-АМг6, Св-АМг63, Св-АМг6І, Св-1357 (алюмінієво-магнієві);
- Св-АК5, Св-АК10 (алюмінієво-кремнієві);
- Св-1201 (алюмінієво-мішній).

Алюмінієвий дріт постачають в упаковці. Його термін зберігання не більше 1 року з дня виготовлення. Зварювальний дріт підбирають з урахуванням однорідності з основним металом або з відповідним вмістом деяких елементів, які в процесі зварювання можуть виступити або вистаровуватися.

У ЧЗБ ім. Є. О. Патона НАН України розроблені нові присадкувальні дроти, що містять скандій та цирконій й призначені для зварювання виснованих сплавів алюмінію.

Дріт Св-АМг6 (Sc) зі сплаву систем Al – Mg – Sc – Zr рекомендують для зварювання алюмінієвих сплавів, до складу яких входять незначна кількість міді. Він підвищує міцність зварного з'єднання на 15–20% і виключає утворення гарячих тріщин у металі шва.

Дріт Св-1201 (Sc) зі сплаву системи Al – Cu – Sc – Zr використовують для зварювання алюмінієвих сплавів, до складу яких входять значна кількість міді та інші компоненти. Він забезпечує високу стійкість металу шва проти утворення гарячих тріщин. Границя міцності на 10–15% вища, ніж при зварюванні без скандію.

6.3.2. Дріт для зварювання міді та її сплавів

Для зварювання міді та її сплавів використовують дроти (ГОСТ 16130-72) марок:

- М1, М1Р — для зварювання невідповідальних конструкцій з міді;
- МСр1 — для зварювання електротехнічних виробів з міді;
- БрКМц3-І — для зварювання міді тисненням різними способами;
- Бр ОЦ4-3 — для зварювання міді в захисних газах і для автоматичного зварювання міді й сплавів під флюсом.

- МНІОЖТ5-1-0,2-0,2 – для зварювання міді та мідно-нікелевих сплавів у захисних газах, у т. ч. і в середовищі азоту; зварювання міді з латунню, бронзи з сталлю; зварювання мідно-нікелевих сплавів із латунню, бронзами та сталлю;

- Бр.АМцВ-2 – для зварювання алюмінієво-марганцевої бронзи, мш'якової латуні, міді і мідно-нікелевих сплавів з алюмінієво-марганцевою бронзою;

- Бр.ОФ6,5-0,15 – для зварювання в захисних газах і покритими електродами олов'яних та олов'яно-фосфорних бронз;

- Бр.ОФ9-0,3; Бр.ОФ6,5-0,4 – для зварювання міді вугільним або графітовим електродами;

- Бр.Х0,7; Бр.ХНТ; Бр.НЦрТ – для зварювання бронзи в захисних газах;

- Бр.Х0,7; Бр.ХТ0,6-0,5 – для автоматичного зварювання під флюсом хромистої бронзи;

- ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛОК59-1-0,3; ЛК80-0,3 – для зварювання латуні;

- МРзТБ 0,1-0,1-0,08; МРзТЦрБ 0,1-0,1-0,1 – для зварювання міді в захисних газах;

- МРзКМцТ 0,3-0,3-0,1-0,3 – для зварювання міді товщиною до 10 мм незахищеною дугою.

6.3.3. Дріт для зварювання титану та його сплавів

Для зварювання титану та його сплавів використовують суцільний дріт марок:

- ВТ1-00 – для зварювання технічного титану;

- ВТ1-00; ВТ2св; ВТ20-1св – для зварювання низьколегованих титанових сплавів;

- ВТ6св; СПТ-2 – для зварювання високоміцних титанових сплавів;

- Також використовують порошковий дріт марок:

- ППТ-1; ППТ-2 – для зварювання низьколегованих титанових сплавів;

- ППТ-3 – для зварювання високолегованих титанових сплавів.

6.3.4. Дріт і прутки для зварювання нікелю, сплавів цинку, срібла й магнієвих сплавів

Для зварювання нікелю та його сплавів використовують дріт такого ж хімічного складу, як і основний метал або нікель, легований елементами розкислювачами (кремнієм, марганцем, титаном) марок:

Н1; НП-1; НП-2; НМц2,5; НМцАТ3-1,5-0,6; НМцТК1,5-2,5-0,15; Х20Н80 (ніхром) та ін.

Для зварювання свинцю та його сплавів використовують дріт такого ж хімічного складу, як й основний метал.

При зварюванні цинкових сплавів використовують однорідні за хімічним складом дроти та смуги марок:

- ЦА4; ЦАМ4-1 – для литварних сплавів;

- ЦАМ9-1,5; ЦАМ10-5 – для антифрикційних сплавів;

- Для зварювання срібла використовують срібний дріт з 0,5–1,0% АІ (розкислювач) або дріт, до складу якого входять рідкоземельні матеріали.

Для зварювання магнієвих сплавів випускають дріт марок МА1; МА2-1; МА3, які підбирають за хімічним складом основного металу.

Контрольні запитання та завдання

1. Які дроти використовують для зварювання алюмінію?
2. Які марки дроту застосовують при зварюванні міді та її сплавів?
3. Який дріт використовують для зварювання титану, нікелю, свинцю, цинку і магнієвих сплавів?

6.4. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ

6.4.1. Дріт для наплавлення

Наплавлявальні дроти використовуються для відновлення спрацьованих поверхневих шарів для відновлення форми, розмірів і властивостей деталей. Якщо необхідно відновити розміри або форму деталі, то використовують звичайний зварювальний дріт, який дає наплавлений метал низької твердості. Для наплавлення згідно з ГОСТом 2247-70 використовують зварювальний дріт марок:

- Св-08 (із твердістю наплавленого шару НВ120-160); Св-10Г2 (НВ180-210); Св-08ГС (НВ 180-200); Св-12ГС (НВ 190-220); Св-08Г2С (НВ 180-210) – осі, валі, розки (де проходить тертя металу із мащенням);

- Св-18ХГС (НВ240-300) – тертя металу з мащенням і без мащення (опорні розки, натяжні колеса гусеничних машин, цапфи);

- Св-20 Х13 (НRC 42-48); Св-07Х27Т (НRC 30-38) – кавітаційно-корозійне спрацювання при температурах до 450°C (увільнювальні поверхні запірної й перепускної арматури для пари та води);

Св-06Х19Н10Т (НВ160-190); Св-08Х19Н9Ф2Г2 (НВ200-230) – кавітаційно-корозійне спрацювання при температурах вище 450°C.

Для підтримання наплавленого металу високої твердості використовують спеціальний сталевий наплавленосталевий дріт, який випускають діаметром, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 6,5; 8,0. Згідно з ГОСТом 10543-82 використовують сталевий наплавленосталевий дріт марок:

- Нп-25, Нп-30, Нп-35 (НВ 160-220); Нп-40, Нп-45 (НВ 170-230); Нп-50 (НВ 180-240); Нп-65 (НВ220-300); Нп-80 (НВ 260-340); Нп-40Г (НВ 180-240) – тертя металу при наявності мащення (осі, вали, шпindelі);

- Нп-50Г (НВ 200-270); Нп-65Г (НВ 230-310); Нп-40Х13 (HRC 45-50) – тертя металу без мащення із значним контактним навантаженням (осі опорних роликів, кранові колеса, натяжні колеса сусенчастих машин);

- Нп-40Х2Г2М (HRC 45-56); Нп-50 ХФА (HRC 43-50) – тертя металів із мащенням у поєднанні з динамічним навантаженням (шлицові й колінчасті вали, поворотні кулачки);

- Нп-30 ХГСА (НВ 220-300); Нп-30Х5 (HRC37-42); Нп-50ХНМ (HRC 40-50); Нп-50 Х6ФМС (42-48); Нп-50Х (HRC 32-38); Нп-45Х2В8Г (HRC 40-46); Нп-60Х3В10Ф (HRC42-50); Нп-45Х4В3ГФ (HRC38-45) – термічна втома, тепломіни (прокатні вали, ковальсько-пресовий інструмент);

- Нп-40Х3Г2МФ (HRC 38-44) – ударно-абразивне спрацювання (ковні екскаваторів, ножі бульдозерів);

- Нп-Г18А (НВ220-280) – ударне спрацювання деталей із сталі 110Г13Л;

- Нп-20Х14 (HRC 32-38) – кавітаційно-корозійне спрацювання заірної арматури для пари і води;

- Нп-30Х13 (HRC 38-45) – гідро-абразивне спрацювання (підшипери гідравлічних пресів, шийси колінчастих валів, гребні вали суден);

- Нп-30Х10Г10Т (НВ 200-220) – кавітаційна ерозія (лопасті турбін, гребні, гвинти);

- Нп-Х15Н160 (НВ 180-220) – термічна втома при високій температурі (печі, реторти);

- Нп-Х20Н80Т (НВ120-220) – термічна втома при високій температурі у поєднанні з корозійним середовищем (випускні клапани двигунів внутрішнього згорання);

- Нп-03Х15Н35Г7М6Б – корозійне спрацювання при підвищеній температурі (корпуси посудин в атомно-енергетичному машинобудуванні, арматура хімічної промисловості).

Цифри та букви після індексу Нп (наплавленосталевий) вказують хімічний склад дроту. Марки дроту вибирають, урахувавши необхідну твердість і навантаження наплавлених поверхонь.

Дріт поставляють у мотках із внутрішнім діаметром від 150 до 750 мм і масою від 1,5 до 30 кг. Мотки зв'язують у бухті масою не більше 80 кг. Наплавленосталевий дріт упаковують і зберігають ідентично аваріальному.

6.4.2. Порошковий дріт для наплавлення під флюсом

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти марок:

- ПП-АН120 – кранові колеса, вали, шківні, ролики констрів;
- ПП-25Х5ФМ – штампні гарячої штамповки, вали гарячої прокатки;

- ПП-АН103 – ножі холодного різання металу, гальванні шківні;
- ПП-АН133 – кавітаційно-корозійне спрацювання при підвищених температурах тощо.

6.4.3. Самозахисний порошковий дріт для наплавлення

В умовах, коли неможливе використання доконтних газів, застосовують самозахисний порошковий дріт таких марок:

- ПП-ТН250 – осі, вали, колеса виготові із сталей 25Л і 45Л;
- ПП-АН122 – колінчасті вали, хрестовинні карданних валів;
- ПП-АН130 – ножі гарячого різання, ковальський інструмент;
- ПП-АН135 – зуби й ковні екскаваторів;
- ПП-У10Х4Г2Р – котки та ролики сусенчастих машин;
- ПП-АН106 – гідрпресове обладнання тощо.

Витрати порошкового дроту при наплавленні під флюсом становлять 1,05-1,15 кг на 1 кг наплавленого металу, а при застосуванні самозахисних дротів – 1,1-1,3 кг на 1 кг наплавленого металу.

6.4.4. Електродні стрічки для наплавлення

Використання електродних стрічок для наплавлення значно підвищує продуктивність, зменшує вміст основного металу в наплавленому шарі, забезпечує рівну наплавлену поверхню з припуском 1-1,5 мм. Особливо продуктивним є наплавлення плоских і циліндричних поверхонь. Застосовують електродні стрічки таких марок:

- Св-02Х13 – деталі трубопроводної арматури;
- Св-07Х25Н13 – корозійне спрацювання;
- Св-03Х22Н11Б – одношарове наплавлення сталей;

- Св-04Х19Н11М3 – наплавлення другого шару на сталі, коли конструкція не обробляється термічно в інтервалі температур 500–800°C та ін.

Електродні стрічки для наплавлення виготовляють товщиною 0,7 мм та шириною 50 мм 65 і 100 мм.

6.4.5. Порошкові електродні стрічки для наплавлення

Для наплавлення поверхонь деталей широко застосовують порошкові електродні стрічки марок:

- ПЛ-У25Х25Г3Ф2Р (розміри 45×3 мм) – абразивне спрацювання робочих органів землерийних машин;
- ПЛ-АН171 (20×4) – інтенсивне газо- і гідроабразивне спрацювання деталей;
- ПЛ-АН111 (14×4) – абразивне спрацювання з помірними ударами при підвищених температурах до 600°C (пристрої доменних печей, колювачки) тощо.

6.4.6. Спечені електродні стрічки для наплавлення

При інтенсивному абразивному спрацюванні деталей, термічній втомі, помірних і високих температурах, корозії поверхонь, для наплавлення використовують спечені електродні стрічки марок ЛС-5Х4В3ФС, ЛС-70Х3НМ, ЛС-У10Х7ГР1, ЛС-10Х14Н3, ЛС-20Х10Г10Т та ін.

6.4.7. Гранульовані порошки для наплавлення

Гранульовані порошки застосовують для наплавлення деталей, умови роботи яких не визначені, та при наявності фактора випадковості. Виготовляють однорідні порошки та їх суміші таких марок:

- ПГ-С1, АГ-УС25 – абразивне спрацювання сільгоспмашин;
- ПГ-СР4 – гідроабразивне спрацювання при підвищеній температурі;
- СНГН-50, СНГН-55 – тертя металу, абразивне спрацювання з ударними навантаженнями і при підвищених температурах (валі, кулачки, клапани, шнеки);
- НіЧ-2, НіЧ-3 – спрацювання малих деталей, заварювання дефектів лиття та ін.

Порошкове наплавлення може бути плазмове, газопорошкове, індукційне, дугове несплавним електродом.

6.4.8. Литі твердосплавні прутки для наплавлення

Для наплавлення литих твердосплавних прутків застосовують газове й дугове наплавлення несплавним електродом. Виготовляють прутки діаметром 4 мм, 5, 6 і 8 мм та довжиною від 300 до 500 мм таких марок:

- Пр-С1 (тип прутка ПрН-У30Х27Н4С3, HRC50-54) – сормайт №1;
- Пр-С2 (ПрН-У20Х17Н2, твердість HRC40-45) – сормайт №2;
- Пр-С27 (ПрН-У45Х28Н2СВМ, HRC52-59);
- Пр-В2К, Пр-В3К (ПрН-У16ХК63В5, HRC42-48) – сталіти В2К і В3К;
- Т3 (HRC90-92) – реліт (трубка діаметром 6 мм з товщиною стінки 0,6 мм із низьковуглецевої сталі, заповнена крихтами карбідів вольфраму).

Наплавлення твердими сплавами використовують при абразивному, гідроабразивному, корозійному спрацюванні деталей ковшів екскаваторів, зубів землечерпалок, дробарок, бурових долот тощо.

6.4.9. Чавунні прутки для наплавлення

Для підвищення стійкості проти спрацювання невідповідальних деталей (лемехів плугів, лоп культиваторів, зубів ковшів екскаваторів та ін.) використовують прутки з білого чавуну марок БЧ і ХЧ, які забезпечують твердість поверхні наплавленого шару відповідно HRC44-46 і HRC48-52.

Контрольні запитання та завдання

1. Для чого призначені наплавлені матеріали?
2. Яке умовне позначення наплавленіх протів?
3. Які матеріали використовують для наплавлення твердих сталей і чавунів?
4. Які марки зварювального дроту використовуються для наплавлення?
5. Які порошкові дроти застосовують для наплавлення під флюсом?
6. Коли використовують електродні стрічки для наплавлення?
7. З якою метою використовують наплавлення твердими сплавами?

6.5. ПОРОШКОВИЙ ДРІТ І СТРІЧКА

Для зварювання та наплавлення використовують порошковий дріт і стрічку. Порошковий дріт для зварювання сталей складається з шпакелювальною сталеві оболонка, в яку заповнюється порошком феросплавів (для легування металу), окисні порошки (для підвищення продуктивності та які є шпакелювачем), газо- і шлакоутворюючі компоненти (для захисту розплавленого металу від повітря шляхом виділення газів при розплавленні електроду).

Порошковий дріт виготовляють на спеціальних верстатах методом безперервного зварювання в трубку стрічки зварювання 8–20 мм і товщиною 0,2–1 мм і протягуванням через фільтри з діаметром заокругленням порошком.

Порошковий дріт виготовляють діаметром від 1,6 до 3,6 мм різних конструкцій. Найчастіше використовуються дроти кільцевої перерізу (рис. 6.1 а). Для підвищення коефіцієнта наплавлення використовують дроти із однією або двома загнутими кромками (рис. 6.1 б, в). Крайній захист зварної ванни від зовнішнього середовища і лишні механічні властивості шва зберігають при застосуванні двохсторонніх порошкових дротів (рис. 6.1 г). У товсті порошки (шпакелі) використовують рутило-целюзозні карбонатно-флюоритні (флюорит-плавковий шпакелі CaF_2), флюоритні, рутилові, рутило-флюоритні. Останні два види застосовують для зварювання з додатковим захистом у вуглекислому газі. Порошковим дротом зварюють у захисних газах, під шаром флюсу або відкритою дугою. Зварювання відкритою дугою застосовується у випадках, коли устаткування використовують ручного, дугового або механізованого зварювання у захисних газах і під флюсом. При зварюванні порошковим дротом у захисних газах добрий розпленість метал зварної ванни і зменшується кількість газних пор, що відбиває пластичність шва.

Після тривалого використання порошковий дріт перед зварюванням необхідно просушити при температурі 200–250°C протягом 1,5–2 год для уникнення утворення у шві пор.



Рис. 6.1. Поперечний переріз порошкових дротів

а — шпакелівий; б — з однією загнутою кромкою; в — з двома загнутими кромками; г — двохсторонній

Порошковий дріт використовується для зварювання і наплавлення сталей, зварювання з примусовим формуванням металу шва, зварювання дефектів сталевих і чавунних лиття, наплавлення міді, бронзи й мідно-нікелевих сплавів на сталь та ін.

Для зварювання сталей використовують порошкові дроти таких марок:

- самозахисні дроти загального призначення — ПП-АН11, ПП-УДСК, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН14, ПП-АН2М, ПП-АН23, ПП-УДСК, СП-1, СП-2, ППВ-4, ППВ-5 (ПП-порошковий дріт);
- порошкові дроти загального призначення для зварювання у вуглекислому газі — ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН21, ПП-АН13, ПП-АН14, ПП-АН9, ПП-АН18, ПП-АН22, ПП-АН26, ПП-АН34;
- самозахисні дроти для зварювання з примусовим формуванням шва (з формуваннями підкалками) — ПП-АН15, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН19С, ПП-УВДСК, ПП-АН24;
- порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі з примусовим формуванням шва — ПП-АН5, ПП-АН3С;
- порошкові дроти спеціального призначення — ПП-АН1 (для зварювання від води), ПП-АН6 (для зварювання труб теплообмінників);
- порошкові дроти для зварювання легіонованих сталей — ПП-АНВ1, ПП-АНВ2, ПП-АНВ3, ПП-АН-А1 (дрот ПП-АН-А1 — для зварювання у вуглекислому газі, а решта дроти — самозахисні);
- самозахисний порошковий дріт фториднокарбонатного типу марки ПП-АН60 для зварювання у всіх просторових положеннях шпакелювальних і низьколегованих сталей (забезпечує високу міцність, ударну в'язкість, добре відображення шлаку, незалежне розбіркасування і виділення зварювального аерозолю).

Для одержання більш широкого шару наплавленого металу та підвищення продуктивності наплавлення поверхню великих розмірів замість порошкового дроту використовують порошкову стрічку (рис. 6.2). Залежно від призначення, застосовують електродну стрічку різного хімічного складу товщиною від 0,2 до 1,0 мм і шириною від 15 до 100 мм. Порошкова стрічка абільшує можливість легування наплавленого металу.

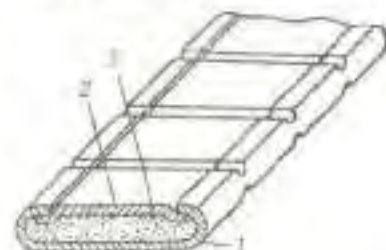


Рис. 6.2. Порошкова стрічка: 1 — ядро стрічки; 2 — верхня стрічка; 3 — шпакелі

Для наплавлення використовують електродні порошкові дроти марок ПЛ-У25Х25Г3Ф2Р, ПЛ-АН171, ПЛ-У40Х38Г3Р1Ю та ін., а також спеціальні електродні стрічки марок ЛС-5Х4В3ФС, ЛС-70Х3НМ, ЛС-10Х14Н3, ЛС-20Х10Г10Т та ін. Умовні позначення марок

порошкових дротів: ПП – порошок дріт; ПЛ – порошок стрічка, ДС – стрічка спечена, пастуни будів – умовні позначення легуючих елементів, а цифри після букв – їх вміст у відсотках. У деяких марках дроту і стрічки після дефіса вказують умовні позначення сплаву, яке складається з букв і цифр.

6.5.1. Порошкоподібні зварювальні матеріали

Для зварювання під флюсом низьковуглецевих і низьколегованих сталей використовують порошкоподібні зварювальні матеріали. Їх подають у зварювальну вангу одночасно із подачею дроту для покращення якості зварних швів і підвищення продуктивності зварювання. Порошкоподібний присаджувальний матеріал (ПМ) виготовляють у вигляді агломерованих кульок або рубленого дроту (2,5 мм) – крупки із зварювального дроту марок Св-08А, Св-08Г2С, Св-08ГЛ та ін.

Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте поняття порошковий дріт.
2. Якого перерізу випускають порошок дроту?
3. Порошкові дроти яких марок використовуються для зварювання сталей?
4. Для чого використовуються порошкові стрічки?

6.6. ПОКРИТІ ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА РІЗАННЯ

Покриті електроди призначені для ручного дугового зварювання і наплавлення сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів. Це металеві стрижки з нанесеним на них покриттям (обмазкою), які під час зварювання плавляться. Покриття призначене для стабілізації горіння дуги, захисту зварної ванни від повітря, легування і розкиснення металу. Плавкі електроди призначені для підведення зварювального струму до дуги і одночасно є присаджувальним матеріалом.

Залежно від призначення і хімічного складу металу виробу електроди повинні забезпечувати:

- легке запалювання та стійке горіння дуги;
- одержання металу шва необхідного хімічного складу;
- високі механічні й технологічні властивості;
- рівномірне плавлення електродного стрижка та покриття;
- якісне формування шва;

- легке відокремлення шлаку;
- незначне розбризкування металу;
- високу продуктивність при незначних витратах;
- мінімальну токсичність.

Крім цього до електродів ставлять спеціальні вимоги:

– одержання швів із певними експлуатаційними властивостями (підвищена міцність, корозійність, жорсткість, стійкість проти спрацювання тощо);

– одержання швів заданих характеристик (глибина провару, підсилення, катет шва та ін.);

– використання визначених способів зварювання (просторове розташування, вибрання електрида тощо).

У якості електродного дроту використовують легувані сталі, чавун, кольорові метали та сплави. До складу покриття (обмазки) вносять стабілізуючі, шлакоутворюючі, газоутворюючі, розкиснювальні, легуючі та інші компоненти.

Стабілізуючі речовини призначені для забезпечення стійкого горіння дуги (поташ, сода, польовий шпат, мармур, крейда та ін.).

Шлакоутворюючі речовини сприяють утворенню шлаку, який захищає зварну вангу від повітря (мармурова руда, граніт, мармур, кремнезем, польовий шпат, плавиковий шпат та ін.).

Газоутворюючі речовини при нагріванні утворюють газ, який захищає зварну вангу від навколишнього середовища (мармур, доломіт, магніт тощо).

Розкиснюючі речовини розкиснюють метал, який знаходиться у вигляді оксидів (феромарганець, феросиліцій, феротитан, фероалюміній).

Легуючі речовини надають металу шва задані механічні й експлуатаційні властивості (хром, нікель, вольфрам, молибден, ванадій та ін.).

Зв'язуючі речовини з'єднують усі компоненти покриття (обмазки) в однорідну масу (натрієве рідке скло $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$, калієве скло $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$). Для кращого формування покриття вносять пластифікатори (каолін, декстрин та ін.). Деякі речовини обмазки одночасно виконують декілька функцій – стабілізуючі, газоутворюючі та інші.

Шлаки, що утворюються при плавленні покриття, можуть бути короткими й довгими. У **коротких шлаках** проходить швидке зростання в'язкості із зменшенням температури. Тому для зварювання в різних просторових положеннях використовують електроди з короткими шлаками (рутилове та основне покриття). У **довгих шлаках** в'язкість зростає повільно при охолодженні (містять кремнезем). Для зварювання вертикальних і стельових швів електроди з довгими шлаками не використовують тому, що зварна ванна тривалий час знаходиться у рідкому стані.

Щоб шпакли краще відієлилися від поверхні шва, ліній коефіцієнт лінійного розширення повинен відрізнятися від коефіцієнта лінійного розширення металу.

За товщиною покриття бувають якісні (товсті) й стабілізуючі (тонкі). Якісні покриття мають товщину 0,5–2,5 мм і становлять 20–40% маси електродного дроту, а із залізним порошком – відповідно 3,5 мм і 50%. Їх використовують для одержання шва такої ж якості як і основний метал. Стабілізуючі покриття мають товщину 0,1–0,3 мм і не оплавляють на якість, а тільки підвищують стабільність горіння дуги (застосовують рідко).

Усі матеріали, з яких виготовляють електроди, повинні відповідати вимогам стандартів.

Контрольні запитання та завдання

1. Для чого призначені покриті електроди?
2. Як виного ставляться до електродів?
3. З яких компонентів складається покриття електродів?
4. Охарактеризуйте довгі та короткі шпакли.

6.7. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Покриті електроди класифікують за призначенням, за типом покриття, за механічними властивостями металу шва, за товщиною покриття, за допустимими просторовими положеннями зварювання, за родом струму й полярністю, а також за діаметром електродів та іншими ознаками.

Розглянемо класифікацію за схемою умовного позначення електродів (рис. 6.3). Згідно ГОСТу 9466-75 умовне позначення електродів для зварювання і наплавлення є дроб. у чисельнику та знаменнику якого вказуються характеристики електрода.

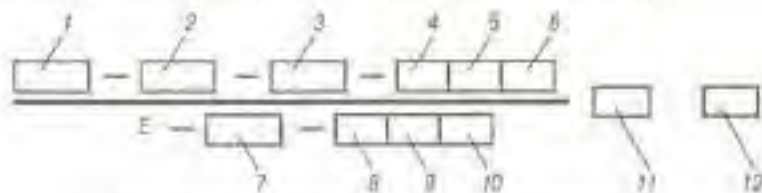


Рис. 6.3. Схема умовного позначення електродів:

1 — тип електрода; 2 — марка електрода; 3 — діаметр електрода; 4 — позначення металу шва; 5 — товщина покриття; 6 — група за якістю; 7 — група індексів, які характеризують метал шва; 8 — вид покриття; 9 — просторове положення зварювання; 10 — рід струму й полярність; 11 — стандарт, який визначає якість шва електродів; 12 — стандарт, який визначає якість шва даного типу електрода

1. **Тип електрода** характеризує мінімально гарантований тимчасовий опір наплавленого металу електродом даного типу. Умовне позначення \mathcal{E} — електрод, число після букви означає мінімальний опір, а буква A після цифри — високу пластичність наплавленого металу. Наприклад, $\mathcal{E}46A$ означає тип електрода за ГОСТом 9467-75 із мінімальним тимчасовим опором 460 МПа (46 кгс/мм^2) і високими пластичними властивостями наплавленого металу порівняно з електродом відповідного типу без цієї букви. За типом електроди класифікують:

— для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей передбачаються типи електродів — $\mathcal{E}38$, $\mathcal{E}42$, $\mathcal{E}42A$, $\mathcal{E}46$, $\mathcal{E}46A$, $\mathcal{E}50$, $\mathcal{E}50A$, $\mathcal{E}55$, $\mathcal{E}60$;

— для зварювання легованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву більше 600 МПа — $\mathcal{E}70$, $\mathcal{E}85$, $\mathcal{E}100$, $\mathcal{E}125$, $\mathcal{E}150$;

— для зварювання легованих теплоустійких сталей — $\mathcal{E}09M$, $\mathcal{E}09MX$, $\mathcal{E}09X1M$, $\mathcal{E}05X2M$, $\mathcal{E}09X2M1$, $\mathcal{E}09X1M\Phi$, $\mathcal{E}10X5M\Phi$, $\mathcal{E}10X1M1H\Phi$, $\mathcal{E}10X3M1H\Phi$;

— для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями — 49 типів (ГОСТ10052-75) $\mathcal{E}12X13$, $\mathcal{E}06X13H$, $\mathcal{E}08X20H9Г2B$ та ін.

— для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями — 44 типи (ГОСТ10051-75) $\mathcal{E}1012$, $\mathcal{E}3012XM$, $\mathcal{E}65X11H3$ та ін.

В умовних позначеннях типів електродів теплоустійких, легованих і для наплавлення цифри після дефісу вказують вміст вуглецю у сотих частках відсотка, а наступні букви й цифри — умовні позначення легуючих елементів та їх вміст у відсотках. Наприклад, умовне позначення типу електрода $\mathcal{E}08X20H9Г2B$ означає хімічний склад наплавленого металу: 0,08% С, 20% Cr, 9% Ni, 2% Mn, 1% Nb.

2. **Марка електрода** характеризується складом покриття, маркою електродного дроту, властивостями металу шва. Кожному типу може відповідати одна або декілька марок електродів. Наприклад, марки АНО-21, УОПН-13/45, ОЗС-3 та ін. відповідають типу електрода $\mathcal{E}46$.

3. **Діаметр електрода** згідно ГОСТу 9466-75 може бути від 1,6 до 12 мм (довжиною від 225 до 450 мм). Наприклад, 4,0 — діаметр електрода 4 мм. На упаковках електродів в умовному позначенні часто пропоставляють тільки знак \varnothing — діаметр, а числове значення вказують окремо в іншому місці. Діаметри електродів, мм: 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0.

4. **Призначення електрода**. За призначенням електроди класифікують таким чином (букви є умовними позначеннями):

• Y — для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей з тимчасовим опором розриву менше 600 МПа;

• L — для зварювання легованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву більше 600 МПа;

• В – для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями;

• Т – для зварювання легованих теплостійких сталей;

• Н – для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями.

5. **Товщина покриття** – залежно від відношення діаметра покритого електрода D щодо діаметра електродного стражника d електрода класифікують так (букви є умовним позначенням):

• М – з тонким покриттям ($D/d \leq 1,20$);

• С – з середнім покриттям ($1,20 < D/d \leq 1,45$);

• Д – з товстим покриттям ($1,45 \leq D/d \leq 1,80$);

• Г – з особливо товстим покриттям ($D/d > 1,80$).

6. **Якість електрода** залежить від вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору), точності виготовлення, стану поверхні покриття, суцільності виконання даного електродами металу шва і класифікується на групи: 1, 2 і 3. Чим вища група, тим краща якість електрода.

7. **Група індексів** встановлюється за ГОСТом 9467-75 і вказує характеристики наплавленого металу і металу шва. В умовному позначенні перші дві цифри після букви Е означають тимчасовий опір розриву $\sigma_s = 370, 410, 430, 510$ МПа (відповідно 38, 42, 44 і 52 кгс/мм²), третя – відносне видовження $\delta_n\%$ і критичну температуру крихкості T_k . Третя цифра характеризує одночасно δ і T_k , а якщо ці показники відповідають різним індексам, то третій індекс встановлюють за δ і в дужках вносять додатковий четвертий індекс, який характеризує T_k (табл. 6.2). T_k – мінімальна температура, при якій ударна в'язкість на зразках з V-подібним скосом кромки не менше 0,35 МДж/м² (3,5 кгс·м/см²).

Таблиця 6.2

Індекси металу шва, виконаного електродами для зварювання конструкційних сталей з $\sigma_s \leq 600$ МПа

Показник механічних властивостей	Перші дві цифри індексу	Третя цифра індексу								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
$\delta_n, \%$	37	Класифікація	—	—	—	—	—	—	—	—
	41 або 43	20	20	22	24	24	24	24	24	
	51	18	18	18	20	20	20	20	20	
$T_k, ^\circ\text{C}$	Класифікація	Нерегламентована	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60	

В умовному позначенні електродів з $\sigma_s < 600$ МПа після букви Е типу не ставиться.

Наприклад, індекс Е 412 (5) означає:

41 – $\sigma_s = 410$ МПа; 2 – $\delta \geq 22\%$; (5) – $T_k = -40^\circ\text{C}$.

В умовному позначенні електродів для зварювання легованих конструкційних сталей з $\sigma_s > 600$ МПа (60 кгс/мм²) група індексів металу шва подвійна. Спочатку вказується зварювальний склад шва (принципи маркування для легованих сталей), а потім через дефіс – цифра, яка характеризує T_k .

Наприклад, індекс 09Г2Н10МХ-3 означає:

09 – 0,09% С; Г2 – 2% Mn; Н10 – 10% Ni; М – 1% Mo;

Х – 1% Cr; 3 – $T_k = -20^\circ\text{C}$.

Індекс металу шва для зварювання легованих теплостійких сталей згідно ГОСТ у 9467-75 є двозначним. Перша цифра характеризує T_k , а друга – максимальну робочу температуру, при якій регламентовані показники тривалої міцності наплавленого металу й металу шва.

Наприклад, індекс 27 означає:

2 – $T_k = 0^\circ\text{C}$; 7 – тривала міцність, регламентована до температури 580 $^\circ\text{C}$ (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Робочі температури швів, виконаних електродами для зварювання легованих теплостійких сталей

Температура, $^\circ\text{C}$	Друга цифра індексу
< 450 або не регламентована	0
450-465	1
470-485	2
490-505	3
510-525	4
530-545	5
550-565	6
570-585	7
590-600	8
> 600	9

Група індексів металу шва для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями (ГОСТ 10052-75) складається з чотирьох цифр для електродів, які забезпечують аустенітно-феритну структуру наплавленого металу, і з трьох цифр – для решти електродів. Індекси характеризують стійкість проти міжкристалітної корозії, жароміцність, жаростійкість і кількість фериту в металі шва (табл. 6.4).

Перша цифра характеризує наплавлений метал і метал шва, не схильний до міжкристалітної корозії при випробуваннях (ГОСТ 6032-75).

Друга цифра характеризує максимальну робочу температуру, при якій регламентований показник тривалої міцності, $^\circ\text{C}$.

Третя цифра характеризує максимальну роботу температури зварних з'єднань, при якій допускається застосування електродів при зварюванні жаростійкіх сталей, °С.

Четверта цифра характеризує вміст фериту в аустенітно-ферритному наплавленому металі, %.

Таблиця 6.4

Індекс металу шва в умовному позначенні електродів для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями

цифра індексу	значення цифр індексу			
	перша	друга	третя	четверта
0	—	—	—	Не регламентована
1	A	< 500	< 600	0,5–4
2	AM	510–550	610–650	2–4
3	B	560–600	660–700	2–5,5
4	D	610–650	710–750	2–8
5	—	660–700	760–800	2–10
6	—	710–750	810–900	4–10
7	—	760–800	910–1000	5–15
8	—	810–850	1010–1100	10–20
9	—	> 850	> 1100	—

8. Вид покриття. За видом покриття (обмазки) електроди класифікують: А (A) – кисле; Б (B) – основне; Р (R) – рутитове; Ц (C) – целюлозне; П (S) – інше; Ж – в покритті більше 20% залізного порошку (в дужках – нижешми умовні позначення виду покриття електродів).

Кисле покриття складається з кислих компонентів (кремнезем, марганець руд, феромарганець, гематит). При нормальній товщині покриття електроди використовуються у всіх просторових положеннях, а при великій товщині – тільки для зварювання у нижньому положенні. Зварювання виконують постійним і змінним струмом, довгою дугою, на кромках з іржею, без утворення пор. Наявність феромарганцю й оксидів заліза сприяє виділенню токсичних газів, тому виробництво електродів з кислим покриттям скоротилося.

Основне покриття складається з плавиноків шпату, карбонату кальцію й магнію (крейда, магнезит, мармур). Метал шва характеризується високою ударною в'язкістю, стійкістю проти утворення кристалізаційних тріщин. Електроди з основним покриттям використовують для зварювання товстих металів із підвищеним вмістом сірки та фосфору, жорстких конструкцій виробів. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності. При добавці заліза електроди з основним покриттям використовують на змінному струмі.

Недоліком основаного покриття є висока чувливість щодо утворення пор при збільшенні довжини дуги, наявності іржі, масла, окислини й вологості на кромках металу.

Рутитове покриття складається з титанових сполук (рутил, титановий концентрат, елементи), які призначені для дальнього захисту, а також целюлози, крейди, мармуру, декстрину – для еластичної шксти. Розжигнення й роздування проводяться феромарганцем. Рутитове покриття забезпечує стабільне горіння дуги на змінному та постійному струмі, легке віддалення шлаку, якісне формування шва, низькі витрати металу на розбрикування. Метал шва мало схильний до утворення пор при зварюванні шквастою, вологою та окисненою металом при змінних довжинах дуги.

Целюлозне покриття складається з органічних складових (целюлоза, крохмаль, харчове борошно, декстрин), які призначені для еластичного захисту шквоутворюючих складових (рутил, карбонат, марганець руд, атомосилікати, титановий концентрат). Електроди цього виду мають мало покриття й тому їх використовують для зварювання у всіх просторових положеннях на змінному та постійному струмі. Недоліком електродів із целюлозним покриттям є використання органічних компонентів і великі витрати на розбрикування.

Електроди змішаного покриття мають подвійне умовне позначення, яке складається з двох букв. Наприклад, РА – змішане рутитове і кисле покриття. Якщо в покритті міститься більше 20% залізного порошку, то до позначення виду покриття додається буква Ж.

9. Допустиме просторове положення зварювання або наплавлення умовно позначається цифрами і класифікуються за тем чином:

- 1 – для всіх просторових положень;
- 2 – для всіх положень, крім вертикального зверху вниз;
- 3 – для нижнього, горизонтального й вертикального знизу вгору;
- 4 – для нижнього та верхнього зверху вниз.

Електроди закріплюються на виробництві мають спеціальне умовне позначення у вигляді стрілок (рис. 6.4).



Рис. 6.4 Умовні позначення допустимих просторових положень зварювання електродів заводського виробництва

10. **Рід струму й полярність**, номінальна напруга холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги змінного струму з частотою 50 Гц позначаються цифрами (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Позначення електродів залежно від струму, полярності та номінальної напруги холостого ходу джерела живлення

Рекомендована полярність постійного струму	Напруга холостого ходу джерела змінного струму, В		Позначення
	номінальна	граничне відхилення	
Зворотна	—	—	0
Будь-яка	50	±5	1
Пряма			2
Зворотна			3
Будь-яка	70	±10	4
Пряма			5
Зворотна			6
Будь-яка	90	±5	7
Пряма			8
Зворотна			9

Цифрою 0 позначають електроди для зварювання й наплавлення тільки на постійному струмі зворотної полярності.

Закордонне умовне позначення роду струму таке: АС – змінний струм, DC – постійний струм.

11. **Номер ГОСТ 9466-75**, який визначає класифікацію, розміри й загальні технічні вимоги на покриття металеві електродів для ручного дугового зварювання.

12. **ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 або ГОСТ 10052-75** регламентують вимоги щодо готу електрода, який розглядається.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують сталеві ступінні електроди?
2. Як є види покриття електродів?
3. Яке призначення покриття електродів?
4. Що таке тип електродів?
5. Яке умовне позначення сталевих ступінних електродів?
6. Як електроди використовуються при зварюванні?

6.8. ПРИЗНАЧЕННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Для зварювання й наплавлення вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей використовуються електроди марок АНО-1, АНО-4, АНО-21, ОЗС-23, СМ-11, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, МР-3с (супер, самовідокремлення шлaku), Е6013-LF HYUNDAI (з пониженням димовиділенням, аналог АНО-21), Е-7018 G HYUNDAI (з пониженням вмістом водню, аналог УОНИ-13/55) та ін.

Низьколеговані теплостійкі сталі зварюють електродами марок ОЗС-11, ТМЛ-1У, ЦЛ-17 та ін.

Для зварювання високолегованих жароміцних і жаростійких сплавів використовують електроди марок ОЗЛ-6, ГС-1, ЦТ-28 та ін.

Корозійстійкі сталі зварюють електродами марок ОЗЛ-22, ЦЛ-11, АНВ-20, НЖ-13, Е 308L-16N HYUNDAI (аналог ОЗЛ-8), Е 316L-16N HYUNDAI (аналог ЭА-400/10У) та ін.

Для зварювання різновідних сталей використовують електроди марок ВП-ІМ-1, АНЖУ-1, ІПАТ-5, ОЗЛ-19 та ін.

Для зварювання і різання під водою застосовують електроди марок АНДР-1, ЭПС-АН1, а для різання на повітрі – АНР-2, АНР-3, АНР-4.

Для наплавлення використовують електроди марок ОЗН-250У, НР-70, ЗОШ-1 та ін.

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона створені електроди різного призначення.

- АНО – для зварювання конструкційних сталей;
- АНВ – для зварювання високолегованих сталей;
- АНП – для зварювання високоміцних сталей;
- АНЖР – для зварювання різновідних сталей;
- АПЧ – для зварювання чавунів;
- АНЦ – для зварювання мідних сплавів;
- УАНА – для зварювання алюмінію;
- АНГ – для зварювання методом похилого електрода;
- АНР – для різання металів.

Вітчизняні підприємства випускають електроди з рутиловим (марка АНО-4, АНО-21, МР-3) та ільменитовим (марка АНО-6) покриттям. Ці електроди придатні для зварювання змінним і постійним струмом і користуються найбільшом попитом завдяки високим зварювальним властивостям, щільності швів при високій вологості покриття, можливості зварювання металу зі слідами іржі та забруднень. З електродами рутилового та ільменитового покриття легко працювати зварникам невисокої кваліфікації.

У менших обсягах випускають електроди з покриттям основного виду (марки ДСК-50, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 та ін.) для зварювання особливо відповідальних конструкцій постійним струмом зворотної полярності, короткою дугою, з обов'язковим просушуванням.

В ІЕСЗ ім. С. О. Патія розроблено і налагоджено виробництво нового покоління опаданодегенованих електродів, призначених для ручного електродугового зварювання конструкцій з аустенітними сталей. Електроди АНП-9, АНП-10, АНП-11, АНП-12 піднімають межу витривалості сталейних з'єднань у 1,5–1,7 разів, та вольфрам — у 2 рази порівняно з електродами УОНИ-13/55, АНП-2.

Створені нові універсальні електроди з рутил-целькозним покриттям АНО-36 і з рутилозним покриттям АНО-37, які відповідають типу Е48 і забезпечують «м'яке» горіння дуги, швидке розбризкування металу, добре формування шва. Освоєній випуск нових марок електродів із покриттям основного виду для зварювання труб АНО-ТМ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, які успішно конкурують з аналогічними японськими електродами І.В-52U.

Для зварювання монель-металу та біметалу (вуглекисла сталь-бронза) використовують електрод марки В-56У. Електрод марки ОЗЛ-32 призначений для зварювання нікелю, біметалу сталі-нікель та сталі з нікелем.

Контрольні запитання та завдання

1. Як марки електродів використовувати для виконання пускоциклів і швидкодегенованих сталей?
2. Як електроди застосовують для зварювання кольорових металів і сплавів?
3. Охарактеризуйте застосування електродів марки АНО.
4. Як марки електродів використовують для зварювання труб?

6.9. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ

Чавун зварюють дуговим зварюванням металевими або вугільними електродами, а також газовим і термітним зварюванням.

Погана зварюваність чавуну пов'язана з високим вмістом вуглецю, сірки та фосфору. Чавун зварюють при ремонтно-відновлювальних роботах і при виправленні дефектів у чавунних відливках.

Найдоступнішим є спосіб зварювання чавуну електродами для сталей, але при цьому одержують низьку якість зварного з'єднання. При зварюванні сталевими електродами вміст вуглецю в металі шва становить 1,1–1,8%, що сприяє утворенню тріщин, а швидке охолодження призводить до утворення гартованих структур і зниження міцності зварного з'єднання. Найкращі результати отримують при використанні електродів для зварювання швидкоутлечуючих і швидкодегенованих сталей марок УОНИ-13/45 і УОНИ-13/55. Зварювання електродами з покриттям УОНИ виконують на

постійному струмі зворотної полярності. Ці електроди використовують у випадках, коли не виконується механічна обробка зварного виробу. Електроди мають сталевий стрижень з швидкоутлечуючого зварювального дроту Св-08 або Св-08А і покриття, до складу якого входять графіт, феросиліцій, карборунд, крєйда, плавиковий шлаг і залізна окисина у різних пропорціях.

До сталевих електродів з покриттям шва містять титан і ванадій, відноситься електродів марок ПЧ-4 і СЧС-ТЗ. До складу покриття електродів ПЧ-4 входить 70% ферованадію, тому їх використовують для зварювання високоміцного і ковкого чавуну. Для зварювання дефектів малих розмірів застосовують електроди ПЧ-5 із сталевим стрижнем і покриттям із графітізованими елементами.

Для виправлення дефектів чавунних деталей використовують електроди марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-4, ЗПЧ із чавунними прутками марок А і Б. Прутки марок А використовують при газовому зварюванні і для стрижнів електродів при гарячому зварюванні, марки Б — для стрижнів електродів при холодному і гарячому зварюванні чавуну. Діаметр прутків становить 4, 6, 8, 10 і 12 мм, довжина — 250, 350, 450 мм. До складу покриття входять стабілізуючі, шлакоутворюючі й легуючі компоненти. Чавунними електродами зварюють тільки в нахальному положенні на постійному й змінному струмі. У металі шва спостерігається відблювання чавуну, що утруднює механічну обробку.

Для зварювання виробів, які працюють при незначних статичних навантаженнях використовують мідні електроди марок ОЗЧ-1, ОЗЧ-2 та ОЗЧ-6. Шов, виконаний такими електродами, легко обробляється ріжучими інструментами. Мідні електроди виготовляють із мідних стрижнів діаметром 3–7 мм, які обертають сталевим швидкоутлечуючим стрижнем або дротом. Електроди ОЗЧ-1 мають мідний стрижень і товсте покриття із залізним порошком. Можливі сталевий стрижень із мідною оболонкою. Створені мідно-сталеві електроди з сталевого легovanого дроту марки ОХ18Н9, які покриті мідною оболонкою. На стрижні мідних електродів наносять крєйдове покриття. Замість сталевий стрижень можуть використовуватися спеціальні покриття, які містять титанову руду, феросиліцій, порошковий алюміній, графіт, мармур і плавиковий шлаг. Мідними електродами можна зварювати на постійному і змінному струмі, але кращі результати одержують при зварюванні постійним струмом зворотної полярності.

Для зварювання чавунних виробів, коли необхідна механічна обробка шва і не вимагається висока міцність, використовують електроди на нікелевій основі марок МНЧ-1, МНЧ-2, ОЗОН-1, ОЗЧ-3, ОЗЧ-4. Широко використовуються електроди з стрижнем, виготовленим з монель-металу (28% міді, 2,5 заліза, 1,5% марганцю, решта — нікель) або з константового дроту (40% нікелю, 1,5% марганцю,

рента – мідь). На стрижень наносять спеціальне покриття (40% графіту і 60% крейди або мarmуру). Електроди ЦЧ–3А мають залізновислову основу і виготовляють їх з дроту Св–08Н50 і покриттям основниого виду. Ці електроди забезпечують високу міцність й оброблюваність зварного з'єднання та відсутність тріщин. Закордонні електроди для зварювання чавуну переважно мають вміст нікелю більше 90%, що суттєво впливає на підвищення їх вартості (наприклад, Superfonite Ni).

При дуговому зварюванні вугільним електродам використовують присадкувальні прутики марки А і Б та флюси на основі бури, натрію, калію й інших компонентів, які застосовують для галюого зварювання чавуну.

Контрольні запитання та завдання

1. Які сталеві електроди використовують для зварювання чавуну?
2. Які електроди з човунними прутками застосовують для зварювання чавуну?
3. Які марки електродів із мідними стрижнями для зварювання чавуну?
4. Які електроди на нікелевій основі використовуються для зварювання чавуну?

6.10. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ

Ручне дугове зварювання міді та її сплавів виконують металеними або вугільними електродами. Для зварювання плавкими електродами використовують електроди марок «Комсомолец-100», АНЦ/ОЗМ-2, ОЗБ-1, ЗТ, ММЗ-2, ОМЗ-1, ЕС-300. Електроди стрижні виготовляють із дроту М1, М2, М3, Бр.КМц3-1, Бр.ОФ4-0,25 і Л90. Покриття електродів складається з плавикового шпесту, марганцевої руди, польового шпесту, срібного графіту, феросиліцію, феромарганцю і порошкового алюмінію. Зварювання ведуть на постійному струмі зворотної полярності.

При зварюванні вугільним або графітовим електродам використовують прутики таких самих марок, як і для металених електродів, а для покращення процесу зварювання застосовують спеціальні флюси. До складу флюсів входять бора, металений магній, фосфорнокислий натрій, кремнієва кислота, деревне вугілля, борна кислота і кухонна сіль. Флюси наносять на поверхню прутка і кромок змочених розчином рідкого скла (50% рідкого скла і 50% води).

Для зварювання латуні використовують плавкі електроди із стрижнями, які за хімічним складом подібні до основного металу, й покриттям

там основного анду з великим вмістом розчиненого – алюмінію, графіту та ін. При зварюванні латуні вугільним електродам служать прутики марок ЛК62-0,5, ЛМц40-1,5; ЛК80-3; Бр.ОМцА8-0,7-0,7 і флюси, що використовуються для зварювання міді.

Для зварювання бронзи застосовують покриті плавкі електроди з стрижнями, хімічний склад яких наближений до основного о металу. Марганцеву бронзу зварюють електродами «Комсомолец-100», а деталі з бронзи Бр.АМц9-2 – електродами зі стрижнем такої ж марки і покриттям з кріоліту, хлористого калію, алюмінієвого порошку, феромарганцю та ін. Для зварювання алюмінієвих бронз використовують електроди АНМц/ЛКЗ-АБ. При зварюванні бронз вугільним електродам використовують прутики з ливарних бронз діаметром 5–10 мм такого ж хімічного складу, як і зварюваний виріб. В якості флюсів застосовують буру, борну кислоту (для олов'яних бронз), хлористі та фтористі солі лужяку і лужноземельних металів і кріоліту (для алюмінієвих бронз).

Контрольні запитання та завдання

1. Якими електродами виконують ручне дугове зварювання міді та її сплавів?
2. Які плавкі електроди використовуються для зварювання міді?
3. Якими електродами зварюють латуні та бронзи?

6.11. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Алюміній і його сплави зварюють за допомогою ручного дугового, аргодугового й газового зварювання. Ручне дугове зварювання покритими електродами виконують електродами марок ОЗА-1 і ОЗА-2. В якості стрижня використовують зварювальний дріт Св-А5 із покриттям, яке складається з хлористих і фтористих солей, зв'язаних розчином хлористого натрію у воді та інших компонентів. Електроди ОЗА-1 застосовують для зварювання технічного алюмінію марок А0, А1, А2, А3 в вертикальному і вертикальному положеннях із попереднім підігрівом до 250–400°C. Електроди ОЗА-2 використовують для зварювання алюмінієво-кремністих сплавів типу АЛ-4, АЛ-9, АЛ-11. Зварювання ведуть на постійному струмі зворотної полярності.

Для аргодугового зварювання і зварювання вугільним електродам використовують зварювальний дріт, близький за хімічним складом з основним металом – Св-А97, Св-А83Т, Св-А5 (технічний алюміній), Св-АМц (алюмінієво-марганцевий), Св-АМц3, Св-АМц4).

Ср-АМ5 (алюмінієво-магнієвий), Сп-АК5, Сп-АК10 (алюмінієво-кремнієвий), Сп-1201 (алюмінієво-мідний). При зварюванні купівляючи електродом дрібні частки використовують спеціальні флюси, які складаються з хлористих натрію, калію, літію, фтористих натрію і калію, сірчаноповільного іодію та хроміту. Незалежні електроди для аргонодугового зварювання алюмінію виготовляють з магнієму (ВЧ), із добулками торію (ВТ-15), тантану (ВЛ-10), гурію (ВН). В якості газів використовують інертні гази – аргон, гелій та їх суміші. Мікроплазмові зварювання виконують електродом ВЛ-10 діаметром 0,8–1,2 мм.

В Україні протягом багатьох років використовують в основному електроди марок ОЗА-1 (для зварювання чистого алюмінію) і ОЗА-2 (для зварювання силумінів). Але через високу вміст, сильне розбрикування, погане відокремлення шлаку, високу гідро-скопіючість покриття, необхідність підгріву металу й високу якість швів вони не відповідають сучасним вимогам.

В інституті електросварювання ім. Є. О. Патона розроблені нові електроди серії УМНА для зварювання алюмінію та його сплавів. Основною особливістю цих електродів є фториди й хлориди лужних і лужноземельних металів, які допомагають швидко утворюється шлак і відповідно відхиляють розплавленого металу від навколишнього середовища. У значній кількості електродів в якості зв'язуючої речовини використовують рідке сісло (водний розчин силікату натрію або калію), яке під впливом розчинних хлоридів і фторидів лужних і лужноземельних металів втрачає зв'язуючі властивості. Тому в нових електродів використовують зв'язуючу речовину сумішню з силікатом електродитамі.

Коефіцієнт наплавлення електродів серії УМНА дорівнює 6,0–6,8 г/А·год; витрати електродів на 1 кг наплавленого металу – 2,0–2,2 кг. Перед зварюванням їх просушують при температурі 150–200°C протягом 1–1,5 год. Поставляють і зберігають електроди в герметичній водонепроникній упаковці. Час між просушуванням і зварюванням не повинен перевищувати 24 год.

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності. Крайні зварюються стикові шви, а таврові, кутові й шпалуси застосовують менше через те, що можливе затікання шлаку в зазори, а шлак його важко видалити при промиванні гарячою водою після зварювання. Наявність шлаку може викликати корозію металу. Електроди УМНА забезпечують виражене формування шва, високу стабільність горіння дуги, легке відокремлення шлакової шкряпки та зйомку механічних властивостей металу шва.

Виробність електродів для зварювання алюмінію, які випускаються європейськими фірмами ESAB, Castolin та ін. в 3–11 разів вища вартості електродів серії УМНА.

Контрольні запитання та завдання

1. Які електроди використовують для зварювання технічного алюмінію?
2. Якими електродом зварюють силуміни?
3. Які марки дріт використовують для аргонодугового зварювання алюмінію?

6.12. УМОВИ ЗБЕРІГАННЯ Й ПІДГОТОВКА ДО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Неправильне транспортування й зберігання електродів впливає на якість зварних з'єднань, викликаючи появу в металі шва пор, тріщин та інших дефектів. Кожен зварник повинен знати й виконувати правила зберігання і підготовки електродів до зварювання.

Найважливішими факторами, які можуть погіршувати якість електродів, є:

- механічні пошкодження покриття;
- насичення покриття атмосферною вологою;
- старіння покриття.

Унаслідок недбалої користувачами електродом їх покриття може зруйнуватися. Особливо небезпечні відколи покриття на торці електрода, які в момент запалювання дуги викликають утворення «стартової» корозії шва. У процесі зварювання пошкоджене покриття може відокремлюватися від стрижня, чим погіршує горіння дуги, викликає утворення пор і шлакових включень. М'якість покриття електродів зменшується при збільшенні їх діаметра і товщини покриття. Електроди з механічними пошкодженням покриття основного виду на практиці використовують, а інші види використовують тільки для зварювання невідповідальних виробів.

На якість шва значно впливає підвищений вміст вологи в покритті електродів. При цьому зварювальні властивості електродів погіршуються, викликаючи появу тріщин і пор. Основним джерелом вологи є поглинання її з навколишнього середовища, залишки вологи після термообробки і волога зв'язуючої речовини (рідкого скла). Вміст вологи в покритті залежить від призначення електрода, виду покриття, термообробки і становить від 0,1 до 2% (допустимий вміст вологи в покритті вказується на етикетці даної марки електрода). Найбільш шкідливим до поглинання вологи є електроди з основним видом покриття, а з рудимими, кислим і змішаним – менше чутливі (вміст вологи 0,5–0,9%). В електродів із целюлозним покриттям вологість повинна становити 1,0–2,0%, а інше може призвести до появи пор і розбрикування металу.

Стариння електродів залежить від впливу вологості на покриття та стрижень і проявляється в утворенні білого нальоту на поверхні покриття та корозії стрижня. Білий наліт є результатом взаємодії дугів рідкого скла з вуглекислим газом повітря й утворенням карбонатів натрію та калію. Наліт не впливає на зварювальні властивості електродів більшої міри, але посилює поглинання вологи, зменшує механічну міцність покриття. Корозія стрижня (іржавіння) знижує міцність покриття (викликає відшарування), сприяє утворенню пор. Тому низьководневі електроди, покриті ірсею, не використовують для зварювання.

При транспортуванні й складанні електродів забороняється гнати пачки, скидати їх на кучу, вкладали в стани висотою більше 600 мм. Особливо чутливі до появи дефектів електроди з основним видом покриття (міцність їх у 1,5–2 рази менша рутилового). Електроди складають за марками, діаметром і партіями на стелажах. При цьому перевіряють етикетки та сертифікати на відповідність їх вимогам стандартів і технічних умов. Електроди слід зберігати в сухих опалюваних приміщеннях при температурі не вище $+10^{\circ}\text{C}$ для електродів із рутиловим і кислим покриттям і не вище $+15^{\circ}\text{C}$ для електродів з основним видом покриття. Відносна вологість повинна бути не більше 60%. Для зменшення поглинання вологи з навколишнього середовища електроди упаковують у двошаровий папір, поліетиленові плівки, пластмасові або металеві пелали. Упаковка з полімерної плівки не виключає можливість насичення покриття вологою. В неопалюваному приміщенні через різницю температур в нічний і денний час можливе утворення конденсату на поверхні електродів. Для уникнення конденсації застосовують вакуумування і заповнення упаковки сухим газом перед її герметизацією.

Особливо відповідальною операцією з підготовки електродів до зварювання є просушування, яке слід виконувати відповідно до режимів, вказаних на етикетках. Просушують електроди в електропечах, які підключають до вентиляції, а при її відсутності – відкривають двері печі, щоб забезпечити видалення утвореної пари. Температуру просушування вище $400\text{--}420^{\circ}\text{C}$ встановлювати не рекомендується через можливість втрати механічної міцності покриття і порушення металургійних характеристик електродів. Електроди можна просувувати не більше 3 разів.

На робочому місці зварник повинен захистити електроди від потрапляння води. Для цього використовують металеві ящики, пелали. Електроди з покриттям основного виду рекомендується тримати в термічних шафах при температурі $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$.

У польових умовах електроди зберігають у контейнерах (термопеналах) при температурі $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ (незалежно від виду покриття). Для просушування електродів використовують сушильні шафи типу СНО, ЭОС, СНОЛ та електротермічні печі СНОП, які засто-

говують у виробничих зварювальних приміщеннях і в польових умовах. В якості нагрівальних елементів використовують ніхроминовий дріт або трубчасті електрошарівачі. Не рекомендується зберігати електроди там, де зберігаються і просушуються робочий одяг.

Перед зварюванням перевіряють стан поверхні електродів: відсутність тріщин, злуття, мажливості, відколів, концентриситет покриття, відсутність іржі на горшках. Застосовуючи зварювальних матеріалів без бирок й етикеток категорично забороняється.

Правильне зберігання та підготовка електродів до зварювання запобігають утворенню дефектів у металі шва й гарантують високу якість зварних виробів.

6.12.1. Захисна оболонка покриття зварювальних електродів

Збереження якості зварювальних електродів після їх виготовлення є проблемою. Пилоскопичність, забрудненість, пошкодження обмазки в процесі транспортування, зберігання й споживання не дозволяють забезпечити високу якість зварного з'єднання.

Незахисненість від впливу навколишнього середовища (особливо при незадовільній упаковці), спричиняє втрату зварювальних електродів експлуатаційних характеристик. Волога проникає в покриття і відповідно знижується стійкість горіння дуги й погіршується якість зварного шва. Поверхнєве забруднення сприяє включенню шва ішлами, оксидами та іншими шкідливими домішками і є причиною утворення пор. Волога утримується і при повторному просушуванні, через що шов насичується воднем.

Для захисту покриття зварювальних електродів розроблено нову спеціальну захисну оболонку, яку наносять на обмазку й контактну поверхню стрижня електрода. Це забезпечує необмежений термін їх зберігання. Така оболонка складається з гліцерину, фталевого ангідриду, ксилолу, смола К-421-02, кальціюваної соли, силкатива ИСК-1, крейди ММС-1 та інших компонентів, які забезпечують захист поверхні обмазки і не перешкоджають нормальному горінню дуги. При цьому міцність покриття становить 200%. Тривалі випробування на збереженість покриття із захисною оболонкою від вологи (втримка у воді протягом двох і чотирьох тижнів) указують на відсутність змін вологості покриття електрода.

Контрольні запитання та завдання

1. Для чого просушують електроди?
2. Охарактеризуйте технологію просушування електродів.
3. Як зберігають електроди?

6.13. НЕПЛАВКІ ЕЛЕКТРОДИ

Неплавкі електроди призначені тільки для підведення зварювального струму до дуги, а присадковий метал подається окремо. До неплавких відносяться вольфрамові, вугільні та графітові електроди.

Вольфрамові електроди використовують при дуговому зварюванні в інертних газах, плазмовому зварюванні, а також для різання та наплавлення. Вольфрам — це тугоплавкий метал із температурою плавлення 3400°C і температурою кипіння 5555°C. Висока тепло- і електропровідність зумовили широке застосування вольфрамових електродів для зварювання. Через сильне окиснення їх використовують при зварюванні в середовищі аргону, де вольфрам майже не окиснюється, а тільки повільно випаровується. Вольфрамові електроди виготовляють із вольфрамового порошку шляхом пресування, спікання й прокатування. Застосовують електроди марок:

- ЭВЧ — чистий вольфрам;
- ЭВЛ — з присадкою оксиду лантану (1,1–1,4%);
- ЭВИ-1 — з присадкою оксиду ітрію (1,5–2,3%);
- ЭВИ-2 — з присадкою оксиду ітрію (2–3%);
- ЭВИ-3 — з присадкою оксиду ітрію (2,5–3,5%) і танталу (0,01%);
- ЭВИ-15 — з присадкою оксиду торію (1,5–2%).

Присадки оксидів лантану, торію, танталу та ітрію підвищують потенціал іонізації, в результаті посилюється запалювання дуги, підвищується стійкість електродів і стійкість горіння дуги. Електроди з чистого вольфраму використовуються для зварювання на змінному струмі, а з присадками — на змінному та постійному струмі прямої й зворотної полярності. Виготовляють електроди діаметром від 0,5 до 10 мм, довжиною 75 мм, 150, 200 і 300 мм. Найкращі зварювальні характеристики мають електроди з присадкою ітрію. Витрати електродів діаметром 8–10 мм при безперервній роботі протягом 5 год становлять, г/год: ЭВЧ — 8,4; ЭВЛ — 1,2; ЭВИ — 0,18; ЭВТ — 1,4.

Для зменшення витрат електродів, інертний газ необхідно подавати до вмикання зварювального струму, а припинити після вимкнення та охолодження електрода до його потемніння. Коли зварюють на постійному струмі всі електроди заточують на конус, а коли використовують змінний — електроди марок ЭВИ і ЭВЛ повинні мати плоску заточку, електроди марок ЭВЧ — сферичну. Довжина заточування повинна дорівнювати 2–3 діаметрам електрода.

Вугільні електроди (стрижки) виготовляють із електротехнічного вугілля (кокс, сажа, смала) шляхом дроблення, пресування й відпалу. Графітові електроди виготовляються з вугільних шляхом додаткової високотемпературної обробки — графітазації. Такі електроди мають високі температури плавлення й капіння та малу теплопровідність. Електропровідність графітових електродів у 3 рази вища вугільних, а значить стійкість проти окиснення, менші витрати. Для підвищення

стійкості електродів їх покривають тонким (0,06–0,07 мм) шаром міді. Графітові електроди використовуються для зварювання нітродоуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів, а також зварювання дефектів чавунних деталей. Кінець електродів заточують на конус довжиною 10–20 мм із притупленням 1,5–2 мм. Поверхня має бути рівною без тріщин. Електроди високої якості не залишають слідів на далері, а при вдаренні по них видають металевий звук.

Графітові електроди для зварювання і наплавлення згідно з ГОСТом 10720-75 виготовляють марки СК довжиною 250 мм, діаметром 4 мм, 6, 8, 10, 15 і 18 мм. Зварюють на постійному струмі прямої полярності, що покращує стійкість горіння дуги і зменшує витрати. Для покращення стабілізації горіння дуги застосовують вугільні електроди з гнітом, які мають основний отвір, заповнений легкоіспарюючими речовинами.

6.13.1. Підготовка вольфрамових електродів до зварювання

Особливу увагу необхідно приділяти вибору й підготовці вольфрамових електродів до зварювання. Кінець електрода повинен мати форму урізаного конуса. Великий кут конуса і діаметр наконечника забезпечує збільшення терміну служби електрода, добре пронапильнення, дозволяє виконувати зварювання вузькою дугою без небезпеки ерозії електрода. Зменшення кута й діаметра підвищує стабілізацію горіння дуги та забезпечує можливість зварювання на менших струмах.

Відновлення геометрії форми наконечника електрода є обов'язковою для забезпечення якісного зварювання. Цього досягають шляхом ручного або механічного шліфування кінця електрода. При ручному шліфуванні не вдається забезпечити стабільну та оптимальну геометрію кінця електрода. Будь-яке відхилення від оптимальної форми має негативний вплив на якість шва. Подривини та сліди шліфування сильно впливають на провідність електрода, тому що зварювальний струм проходить, в основному, по поверхневому шарі електрода. Важливо забезпечити шліфування вольфрамового електрода паралельно до його осі. Для оптимальної геометрії електрода гребі, щоб чистота поверхні дорівнювала 0,5R_a. В електродах, шліфованих перпендикулярно до осі, або коли висота їх поверхні більша 0,5R_a, струм проходить нестабільно, що викликає загоряння дуги між наконечником, її блукання, зменшення терміну служби електрода.

Контрольні запитання та завдання

1. Які електроди називають неплавкими?
2. Які є види вольфрамових електродів?
3. Охарактеризуйте особливості вугільних і графітових електродів.

6.14. ЗАХИСНІ ГАЗИ ТА ЇХ СУМІШІ

Захисні гази призначені для захисту зварювальної дуги й ванни від шкідливої впливу навколишнього середовища. В якості захисних газів використовують інертні та активні гази, а також їх суміші.

До **інертних захисних газів** відносяться аргон і гелій. Хімічно вони не взаємодіють із металом і не розчиняються у ньому та забезпечують захист дуги й металу від повітря.

Аргон – одноатомним інертним газом, без кольору та запаху, важчий за повітря, чим забезпечує надійний захист зварної ванни. Залежно від домішок (кисень, азот, водень) він поділяється на такі сорти:

- аргон газоподібний і рідкий (ГОСТ 10157-79) – вищого сорту (не менше 99,992% Ar) та першого сорту (99,987% Ar) для плазмового різання і зварювання плавким і неплавким електродом;

- аргон високої чистоти (ТУ6-21-12-79) – рідкий першого сорту (99,998% Ar), рідкий другого сорту (99,995% Ar) і газоподібний (99,995% Ar).

Аргон вищого сорту використовується для зварювання титанових сплавів, цирконію, молибдену та інших активних металів і сплавів, а також для зварювання особливо відповідальних виробів із нержавіючих сталей. Аргон першого сорту призначений для зварювання алюмінієвих і магнієвих сплавів другого сорту – для зварювання виробів із чистого алюмінію, нержавіючих і зварювальних сплавів.

Зберігають і транспортують аргон у сталевих суцільнозатягнутих балонах у газоподібному стані під тиском 15 МПа (150 кгс/см²). У плавкому стандартному балоні місткість 40 дм³ (л) знаходиться 150 × 40 = 6000 дм³ (6 м³) газу. Колір балонів сірий, а напис – зелений.

Гелій – інертний газ без кольору й запаху, значно легший за повітря і в 10 разів – від аргону. Одержують гелій шляхом стиснення і охолодження природних газів до температур конденсації з наступним відокремленням домішок. Дуба, що горить у гелію, видає більше тепла, ніж в аргоні, чим забезпечує глибоке проплавлення металу. Оскільки гелій в 10 разів легший за аргон, погіршується захист зварної ванни і в 1,5–2 рази збільшуються витрати.

Залежно від вмісту домішок (азот, кисень, вуглекислий газ) гелій газоподібний (ГОСТ 20461-75) поділяється на такі сорти:

- особливої чистоти (не менше 99,995% He);
- високої чистоти (99,985% He);
- технічний (99,8% He).

Гелій використовують при зварюванні кольорових металів і сплавів, нержавіючих сталей.

Зберігають і транспортують гелій так само як і аргон. Колір балонів коричневий, а напис – білий.

До **активних захисних газів** відносяться вуглекислий газ, азот, водень та ін. Вони хімічно взаємодіють із зварювальним матеріалом і розчиняються в ньому.

Вуглекислий газ (CO₂) є безколірний і неприємним запахом. При підвищенні тиску він перетворюється в рідину, яку називають вуглекислою, а при сильному охолодженні (вище –78,9°С) переходить у твердий стан, який називають «сухий лід». Вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, що забезпечує надійний захист зварної ванни при незначних витратах.

Гасодержують із вапняків, коксу, антрацитів методом вивалювання в спеціальних печах із природного й котельних газів та іншими способами. Пустиня рідкої вуглекислоти сильно змінюється при змінах температури і тому вуглекислота постачається за вагою, а не за об'ємом. При випаровуванні 1 кг вуглекислоти утворюється 509 дм³ (л) вуглекислого газу.

Випускають двоєкис вуглецю газоподібний і рідкий (ГОСТ 8050-85) таких серій:

- зварювальний (не менше 99,5% CO₂);
- зварювальний підвищеної якості (99,8% CO₂);
- технічний (98,5% CO₂).

Зварювальний (прогумований) вуглекислий газ відрізняється від промислового меншим вмістом вологи.

Рідку вуглекислоту зберігають у балонах під тиском 6–7 МПа. У балоні знаходиться 60–80% рідини, а решта – газ, що випарувався. Колір балона чорний, а напис – жовтий. В балоні місткість 40 л заливують 25 л вуглекислоти, при випаровуванні якої утворюється 15–20 л газу. Зварювальну вуглекислоту забороняється заливати в балони з-під харчової і технічної вуглекислоти тому, що вони можуть мати підвищену щільність пари води. Використовують вуглекислоту до тиску в балоні не менше 0,4 МПа.

Під час використання вуглекислоти можуть виникнути перепади тиску, що призводить до утворення «сухого льоду». Для запобігання цьому явищу між балоном і редуктором установлюють підігрівач.

У балонах із вуглекислим газом не повинна бути вода, але через дефіцит зварювальної вуглекислоти першого сорту, застосовують газ другого сорту і харчовий. Підвищений вміст водяної пари у вуглекислому газі призводить до утворення пор і зниження пластичності зварного з'єднання. Тому рекомендують перед використанням нашій балон встановити вентилям вниз на 8 год, а потім відкрити його в такому положенні й випустити воду до появи «сухого льоду». Для зниження вмісту вологи та поглинання теплоти при випаровуванні вуглекислого газу на виході з балона встановлюють підігрівачі.

Азот — газ без кольору й запаху, при температурі -196°C перетворюється на рідину. Він є шкідливим шкідливим додам. Одержують азот із атмосферного повітря в якості побічного продукту. Використовують для зварювання міді, аустенітних сталей і плазмового різання.

Випускають азот таких сортів:

— газоподібний і рідкий (ГОСТ 9293-74); особливої чистоти (не менше 99,996% N_2); технічний газоподібний вищого сорту (99,994% N_2); технічний газоподібний і рідкий першого сорту (99,5% N_2); технічний газоподібний і рідкий другого сорту (99,0% N_2); технічний газоподібний і рідкий третього сорту (97,0% N_2);

азот газоподібний і рідкий технічний, підвищеної чистоти: сорт 1 (99,99% N_2); сорт 2 (99,95% N_2).

Колір балону чорний, напис — жовтий.

Водень — газ без кольору, запаху й смаку, в 1,4 рази легший за повітря. Використовують в якості домішки до захисних газів та для інших промислових потреб. Одержують шляхом електролізу дистильованої води, розчину хлористих солей тощо.

Згідно з ГОСТом 3022-80 випускають технічний водень таких марок:

- А (вміст водню не менше 99,99% H_2);
 - Б — сорт вищий (99,95% H_2), сорт 1 (99,8% H_2);
 - В — сорт вищий (98,5% H_2), сорт 1 (97,5% H_2), сорт 2 (95,0% H_2).
- Колір балону темно-зелений, напис — червоний.

У деяких випадках країні технологічні властивості мають **суміші газів**. Суміш з 70% He і 30% Ar збільшує продуктивність зварювання алюмінію, покращує формування шва, дозволяє наплавитися більшої шар металу. Суміш вуглекислоти з киснем (3–5%) сприяє дрібнокристалічному перенесенню металу, покращує формування шва, зменшує розбризкування на 30–40%. Аргон-азотна суміш (86–88% Ar) покращує плазмові різання, а аргон-киснева (79–77% Ar) сприяє кращому зварюванню плавким електродом сплавів у сильнокислородній атмосфері. Домішки вуглекислоти або кисню до аргону сприяють утворенню струмінного перенесення металу в дузі, зменшуючи при цьому розбризкування і покращуючи якість шва. Суміш аргону (90%) і водню (10%) використовують при зварюванні тонкого металу, забезпечує збільшення швидкості зварювання, зменшення зони термічного впливу і залишкових деформацій. Таку суміш застосовують при мікроплазмовому зварюванні. Водень забезпечує стискування стовпа дуги, робить його сконцентрованим.

Суміш інертних і активних газів (аргон, вуглекислий газ, кисень) мають технологічні переваги перед чистим вуглекислим газом. У даний час впроваджений вищеуказаної газової суміші марки АГАМІКС, яка зменшує розбризкування електродного металу на 5–10%, покращує формування металу шва і робить процес зварювання менше чутливим до коливань напруги та швидкості подачі дроту.

Контрольні запитання та завдання

1. Для чого використовуються захисні гази?
2. Які гази називають інертними?
3. Які є види інертних газів?
4. Які гази називають активними?
5. Назвіть суміші газів, які використовують при зварюванні.

6.15. ЗВАРЮВАЛЬНІ ФЛЮСИ

Спосіб зварювання під флюсом виник у середині 30-х років ХХ ст. Спочатку флюси використовували для зварювання вуглецевих сталей, легированих марганцем і кремнієм, а також як засіб для механічного захисту дуги від впливу зовнішнього середовища. З розвитком металургії, створенням легированих сталей виникла необхідність легування металу зварювальної ванни, що зумовило появу флюсів, які здатні здійснювати металургійний вплив на зварювальну ванну. З появою високоміцних низьколегированих сталей виникла ще одна функція зварювальних флюсів — рафінування металу шва.

Зварювальні флюси призначені для захисту зварної ванни від навколишнього середовища і легування металу шва. Вони використовуються при напівавтоматичному та автоматичному зварюванні під флюсом, а також при електрошлакових провесах.

Інше призначення мають флюси, що застосовуються при газовому й дуговому зварюванні пугільним електродом. Такі флюси служать для виділення з металу шва неметалевих включень, для захисту від окиснення краєвок металу й присадкувального дроту.

Флюси для дугового зварювання повинні забезпечувати:

- захист зони зварювання від повітря;
- стійкість горіння дуги;
- якість формування металу шва;
- щільність шва;
- стійкість проти утворення тріщин;
- відокремлювання шлаку після застигання;
- розчищення металу шва;
- легування металу шва;
- зменшення витрат електродного металу на вигорання і розбризкування.

Зварювальні флюси класифікують за способом виготовлення, візначним складом тощо.

За способом виготовлення флюси поділяють на плавлені й неплавлені. **Плавлений флюс** одержують сплавленням його компонентів із пастушним дробленням на зерна необхідних розмірів. За

булівою зерен плавлені флюси поділяються на склоподібні і немаслоподібні. Склоподібні флюси – це прелорі зерна різних відтінків, які одержують впливом рідкого флюсу при температурі 1200°C у бак з проточною водою. Немаслоподібні флюси – це зерна шихтового матеріалу різних відтінків, які одержують при впливі рідкого флюсу, нагрітого до температури 1600°C, у воду. При цьому пара води спільно розплавлену масу, утворюючи немаслоподібний флюс. Розмір зерен – від 0,2 до 4 мм. Краше формування шва спостерігається при використанні немаслоподібних флюсів, а крайній захист зварної ванни забезпечує склоподібний флюс. Перевагою плавлених флюсів є надійний захист зварної ванни, якісне формування шва, легке відокремлення шлаку, низька вартість. Зберігають флюси в сухих приміщеннях у паперових мішках.

Неплавлені флюси одержують механічним змішуванням тонкопудрианих мінералів, феросталів, силікатів, зв'язаних рідким сілком без сплавлення. Широко використовують неплавлені керамічні флюси.

Керамічні флюси одержують шляхом змішування компонентів із рідким сілком і наступним протиранням через сита або ж із використанням спеціальних грануляторів. Після подрібнення флюс просилюють при температурі 150–200°C і прожарюють при температурі 350°C.

Перевагою керамічних флюсів є широка можливість легування металу шва через флюс, низька чутливість до тріщ, окаління. Керамічні флюси дуже гіроскопічні, тому їх зберігають у герметичних упаковках і жорсткій тарі (через істотну вологи зерен).

За хімічним складом флюси поділяються на оксидні, солеві й солеоксидні. Оксидні складаються з оксидів металів із домішками фторидних сполук і використовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей. Солеві флюси складаються з фторидних і хлоридних солей металів і використовують для зварювання шквистих металів. Солеоксидні флюси складаються з фторидів й оксидів металів і використовують для зварювання легованих сталей.

За призначенням флюси поділяються на групи:

- для дугового зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей;
- для дугового зварювання середньо- і високолегованих сталей;
- для електродугового зварювання;
- для зварювання кольорових металів і сплавів;
- для наплавлення.

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей використовують флюси марок: АН-348А, АН-348АМ, АН-348В, ОСП-45, АН-60, ФЦ-6, АНК-35, АН-37П, АН-20С та ін. Індекс, які стоять після назви марки флюсу означають: М – дрібний, С – склоподібний, П – немаслоподібний.

Для зварювання середньо- і високолегованих сталей використовують флюси марок: АН-20П, АН-20С, АН-26, АВ-4, АВ-5, АН-30, ОФ-6, ОФ-10, ФЦ-17, ФЦК-С, ФЦП-Г та ін.

Для електродугового зварювання використовують флюси наступних марок: АН-8, АН-22, АНФ-Г, АНФ-6, АНФ-7, АНФ-14У, АН-25, С-1.

Для зварювання кольорових металів і сплавів застосовують флюси наступних марок:

- АН-348-А, ОСП-45, АН-26С, АН-26С, АН-М1, АН-М13, АН-М15, АН-М10 – для механізованого зварювання міді та її сплавів;
- АН-301, АН-302, АН-304 – для електродугового зварювання алюмінію та його сплавів;
- ЖА-64, ЖА-64А – для механізованого зварювання під флюсом алюмінію та його сплавів;
- АНТ-1, АНТ-3, АНТ-7, АНТ-23А – для дугового зварювання шва флюсом титану та його сплавів;
- АНТ-2, АНТ-4, АНТ-6 – для електродугового зварювання титану та його сплавів.

Для наплавлення використовують флюси марок: АН-70, АН-28, АН-20П та ін.

До окремої групи входять флюси для газового зварювання й зварювання вугільним електродом, які розчиняють оксиди та неметали включення металу шва. При цьому утворюється легкоплавка суміш, яка легко піднімається у шлак. Флюси використовують у вигляді порошків або паст. Для зварювання вуглецевих сталей їх не застосовують через утворення легкоплавких оксидів заліза, що мілять висхідати на поверхню шва. З флюсами зварюють чавунні, кольорові метали, високолеговані сталі.

Флюси для газового зварювання і зварювання вугільним електродом повинні відповідати таким вимогам:

- флюс має бути більш легкоплавким, ніж основний і приваджувальний метал;
- флюс повинен мати достатню рідкотекучість;
- флюс не повинен спричиняти корозію шва;
- флюс повинен істинно розчинювати оксиди й переводити їх у більш легкоплавкі хімічні сполуки або видавати їх з ванни;
- утворений шлак повинен добре захищати метал від окиснення висієм та азотом повітря;
- шлак повинні добре відокремлюватися від шва після зварювання;
- густина флюсу має бути меншою від густини основного й приваджувального металу, щоб шлак добре спливав на поверхню ванни і не заліпався в металі шва.

Склад флюсу вибирають залежно від властивостей зварюваного металу.

У зварювальній ванні утворюються основні й кислотні оксиди. Якщо утворюються основні оксиди, то застосовують кислотний флюс, а якщо кислотні – основний флюс. В обох випадках реакція проходить за схемою:



При зварюванні латуні утворюється кислотний оксид SiO_2 , для розчинення якого вводять основні оксиди – K_2O , Na_2O . В якості основних флюсів застосовують вуглекислий натрій (Na_2CO_3), вуглекислий кальцій (CaCO_3) і буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$).

При зварюванні міді, латуні утворюються основні оксиди (Cu_2O , ZnO , FeO та ін.), тому для їх розчинення вводять кислотні флюси (сполуки бору).

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення флюсів для механізованого зварювання?
2. Які є види зварювальних флюсів?
3. Чим відрізняються флюси для механізованого зварювання від флюсів, які використовуються при газовому й дуговому зварюванні електричним електродом?

6.16. ЕКЗОТЕРМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАЯННЯ, ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ

Перші зварювальні олівці були створені ще в 1938 р. на базі термітної суміші із залізо-алюмінієвого терміту та дроту. Але намагання отримати задовільний зварний шов успіхів не мали. Тому були створені нові екзотермічні суміші окиснювальних і відновлювальних компонентів, які при певній температурі вступають між собою в екзотермічні реакції. В результаті виділяється значна кількість теплоти, яку використовують для зварювання, паяння, наплавлення, термообробки. За видом використання суміші бувають:

- настороподібні твердіючі й нетвердіючі;
- пресовані у вигляді таблеток, шанок, в оболонках і без оболонки;
- ущільнені в горючих і негорючих оболонках;
- насичені для шпательного зварювання.

Застосування термітних стрижків системи залізо-сталь наптовхується на значні труднощі внаслідок тривалого нагрівання металу (40–60 с). При використанні в якості термітного металу міді можна зварювати метали товщиною до 10 мм. Для одержання міцних швів до термітного металу додають відповідні легуючі елементи.

Зварювальний олівець (рис. 6.5) складається з тіла 2, всередині якого розміщена екзотермічна суміш 3 і запалювальна головка 1. З протилежного боку, на відстані 0,1–0,2 довжини тіла від торця, встановлений різ 4, що розділяє екзотермічну суміш від порожнини 5, в яку вставляється тримач.



Рис. 6.5. Зварювальний олівець: 1 – запалювальна головка; 2 – тіло; 3 – екзотермічна суміш; 4 – різ; 5 – прорізна для вставки тримача

Перед початком роботи в порожнину 5 уставляють дерев'яний стрижень (тримач) і підпалюють (запалювачкою або декількома сірниками) запалювальну головку. Після чого олівець планують до місця з'єднання деталей і зварюють.

Під час горіння виникає температура 2600–3000°C і виділяється присадкувальний метал і флюс. Довжина шва становить 50–70% довжини олівця, а час горіння – 25 ± 5 с. Параметри відповідності діаметра олівця і товщини зварюваного металу вказані у табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Відповідність діаметра олівця і товщини зварюваного металу

Товщина зварюваного металу, мм	Діаметр олівця, мм	
	при стиковому з'єднанні	при з'єднанні внахлст
0,3–0,6	4	–
0,7–1,0	7	–
1,0–1,5	9	–
2,0–3,0	12	9
3,0–3,5	14	12
3,5–4,0	14	14
4,0–5,0	14–16	14–16
5,0–6,0	16–18	16–18

Екзотермічними олівцями можна різати метали без використання зовнішніх джерел енергії. Різучі олівці мають циліндричну горючу оболонку, яка містить ущільнену технологічну екзотермічну суміш. У процесі горіння виникає висока температура, а застосування спеціальних присадок полегшує руйнування поверхневого шару розрізаного металу. Термін зберігання різучого олівця при температурі від 5 до 25°C і відносній вологості 60% дорівнює 2 роки; температура горіння – 3000°C, а час горіння олівця довжиною 200 мм – 5 ± 4 с. Довжина різів становить від

декількох сантиметрів до 1 м. Параметри відповідності діаметра олівця «Терміт» і максимальної товщини розрізаного матеріалу вказані в табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Відповідність діаметра олівця «Терміт» і максимальної товщини розрізаного матеріалу

Діаметр олівця, мм	Максимальна товщина розрізаного матеріалу, мм		Колір ступеня олівця
	прутка	листа	
12	12	4	Рижий
14	16–18	5–6	Оранжевий
16	22–25	8	Червоний

Для виконання ремонтних робіт у польових умовах без використання зварювального обладнання застосовують термічні олівці серії «ОКСАЛ» для паяння-зварювання вуглецевих і легированих сталей, міді й чавуну.

Олівці «ОКСАЛ-1», «ОКСАЛ-2» та «ОКСАЛ-4» застосовують для паяння-зварювання в нижньому положенні кутових, стикових з'єднань. «ОКСАЛ-М» використовують для заварювання тріщин у корпусних конструкціях із чавуну при товщині стінки до 7 мм. Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ» вказані в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ»

Марка	Зварюваний метал	Діаметр, довжина, мм	Довжина шва при використанні одного олівця, мм
«ОКСАЛ-1»	Вуглецева і легирована сталь товщиною 0,5–1,5 мм	10 × 150	До 150
«ОКСАЛ-2»	Вуглецева і легирована сталь товщиною 1,5–4,0 мм	15 × 150	До 130
«ОКСАЛ-3»	Вуглецева і легирована сталь, мідь (дрт 2012 мм)	15 × 210	До 180
«ОКСАЛ-4»	Чавун	15 × 180	До 100

Перед початком роботи в порожню частину олівця вставляють дерев'яний тримач довжиною 150–200 мм. Олівець заповнюється сірником. У процесі паяння-зварювання горіць олівця повинен знаходитись на відстані 3–10 мм від поверхні основного металу. Швидкість переміщення олівця вибирають так, щоб забезпечити рівномірне формування шва.

Роботу з олівцем виконують на відкритому повітрі або з використанням вентиляторів. Для захисту очей застосовують затемнені окуляри, а для захисту рук від можливих опіків рекомендують використовувати брезентові рукавиці.

Контрольні запитання та завдання

1. Як будова зварювального олівця?
2. Охарактеризуйте процес зварювання термічними олівцями.
3. Як марку термічних олівців використовують для зварювання та різання?

6.17. ПІДКЛАДНІ МАТЕРІАЛИ

Підкладні матеріали використовують при односторонньому зварюванні стикових з'єднань. Використання підкладних матеріалів у стикових з'єднаннях скорочує часло проходів, забезпечує зварювання на підвищених режимах, виключає перекаутування металу. Їх поділяють на два види. До першого відносять мідні, флюсо-мідні підкладки та флюсові подушки, які використовують у серійному та масовому виробництві. До другого виду відносять малогабаритні, переносні підкладки, що застосовуються в одиничному виробництві та при ремонтах.

Для зварювання односторонніх стикових швів використовуються підкладні матеріали таких типів:

КП-АИ-061 і КП-АИ-062 – профільовані конітрикові керамічні підкладки, які кріпляться на зворотній стороні шва металевими підставами, масивними пригнітниками, дротом.

ПКП-АИ-061 і ПКП-АИ-062 – клеючі керамічні підкладки (рис. 6.6), які являють собою КП-АИ-061 і КП-АИ-062, складені в смужку і приклеєні до стрічки з алюмінієвої фольги, покритої клеєм, захищеною антиадгезійним папером для зберігання;

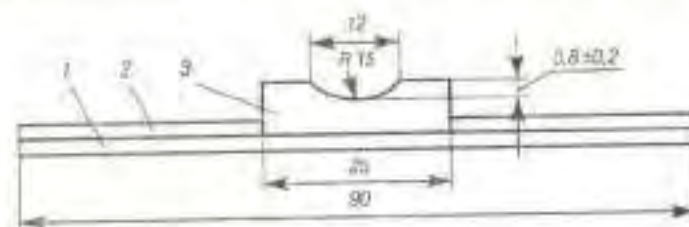


Рис. 6.6. Поперечний порізок клеючої підкладки

- 1 – алюмінієва фольга з клеєм; 2 – антиадгезійний папір (віддаляється перед прикладанням); 3 – керамічний або інтегрований елемент

КП-АН-Д10/20, КП-АН-К10/40, КП-АН-Д12/40 – керамічні підкладки з внутрішніх трубок (діаметром 10 і 12 мм і довжиною 20 і 40 мм), які кріпляться за допомогою заєбів спеціальних:

ПКП-АН-Д10/20, ПКП-АН-Д10/40 і ПКП-АН-Д12/40 – спеціальні керамічні підкладки (трубчасті) набрані з сітки, що приклеєні до стрічки з алюмінієвої фольги;

ПЛ-1,1; ПЛ-1,2; ПЛ-1,3 – гнучкі підкладні стрічки з алюмінієвої фольги, на яку накладена стрічка з скловолокна.

При зварюванні трубопроводів використовують флюс-пасту. Вони призначені для захисту кореня шва і кращого його формування зі зворотної сторони. Флюс-пасту у вигляді смуг ширинною 0,4–0,7 мм наносять на кромку з внутрішньої сторони. З початку нанесення флюс-пасту до її висихання (15–20 хв) паста змінює колір з блискучого темно-коричневого до матового. Флюс-паста складається з шпигти та рідкої сілкатової зв'язуючої, яку постачають окремо у скляній тарі. Перед змішуванням шпигту просушують 2 год при температурі 80–100°C. Флюс-паста повністю відштовпує аргон з метою захисту кореня шва при зварюванні трубопроводів, виготовлених із спеціальних сталей.

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення підкладних матеріалів?
2. Як з'явилі підкладні матеріали?
3. Для чого використовують флюс-пасту?
4. Що забезпечує використання підкладних матеріалів у стикових з'єднаннях?
5. Яка будова клеючої підкладки?
6. З чого складається флюс-паста?
7. Назвіть способи кріплення підкладних матеріалів.

ТЕХНОЛОГІЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

7.1. ПІДГОТОВКА ТА СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

Підготовка деталей до зварювання полягає в очищенні, випрямленні, розмічанні, різанні й складанні.

Кромки та прилету зони (шириною 20–30 мм з кожного боку) очищують від іржі, фарби, окалини, масла та інших забруднень до металевих блисків шпигами, полум'ям, а при відповідальних з'єднаннях використовують траплення, знежирення, пізкострументальну обробку.

Деталі з вигнутостями, випивами, хвилястостями, жолобленнями та викривленнями обов'язково випрямляють. Листовий, сортовий прокат випрямляють у холодному стані ручним і машинним способом. Сильно деформований метал випрямляють у гарячому стані. Для випрямлення застосовують молотки, преси, пружинні машини.

Для перенесення розмірів деталі з креслення на метал використовують розмічання. При цьому користуються інструментами: лінійкою, кутником, циркулем, рисувальною шаблонною. В процесі розмічання необхідно враховувати укорочення заготовок при зварюванні. Тому передбачають припуск з розрахунку 1 мм на кожний поперечний сміт і 0,1–0,2 мм на 1 м подовженого шва.

Після розмічання застосовують термічне або механічне різання, при якому заготовкам надають необхідних розмірів. Крім того розмічають вручну патівками, зубилом або механічним способом на фрезерних, стругальних верстатах та ін. Кут розмічання кромки залежить від способу зварювання, хімічного складу й товщини металу. Його величину перевіряють шаблонами. Конструктивні елементи розмічання кромки показані на рис. 7.1.

Під зварюванням деталі складають за такими способами:

- шове складання шробу з наступним зварюванням усіх швів;
- по черзі під'єднання деталей до вже звареної частини шробу;
- попереднє складання й зварювання шробу з окремих вузлів.

Точність, продуктивність та економічність виготовлення зварних шробів залежить від правильності вибору базових поверхонь (баз) для складання зварних конструкцій. За базові приймають поверхні з найбільшими розмірами; в якості напрямної бази – найбільшу поверхню; опорною базою вважають поверхню будь-яких

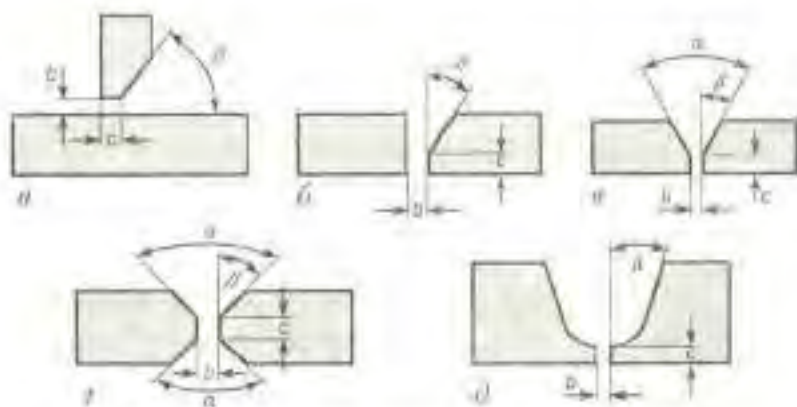


Рис. 7.1. Конструктивні елементи розширених кромки:

a — розширення однієї кромки в кутовому з'єднанні; *b* — розширення однієї кромки в стиковому з'єднанні; *c* — V-подібне розширення кромки в стиковому з'єднанні; *x* — X-подібне розширення кромки у стиковому з'єднанні; *d* — U-подібне розширення кромки у стиковому з'єднанні; α — кут розширення кромки (60° – 90°); β — кут осю кромки (50° – 50°); *d* — зазор (1–4 мм); *c* — пригнуття кромки (1–3 мм)

розмірів у нормальному стані й постійної форми (відсутність рубців, лавів, задирок). Для циліндричних деталей вибирають подвійну напрямну базу — призми. При виборі баз необхідно враховувати наявність складальних пристосувань, вид заготовки, жорсткість деталей і точність їх взаємного розташування, зазори в з'єднаннях, аварійні деформації тощо. Базова деталь визначає розташування вузла у виробі та орієнтує інші деталі й вузли зварної конструкції.

Для складання та зварювання використовують різноманітні пристосування: скоби, упори, затискачі, струбці, прихвати, хомути тощо (рис. 7.2):

- універсальний клиновий затискач для монтажної складання циліндричних і конічних конструкцій (1);
- ручна клинова скоба для складання листового і профільного металу (2);
- ручна пружинна скоба для складання профільного металу (3);
- гвинтова струбціна для складання деталей різного профілю (4);
- поворотний гвинтовий затискач для складання і кріплення деталей у масовому виробництві (5);
- кутиковий прихват із болтом для складання крутих конструкцій з листового матеріалу (6);
- скоба прихватна з ломом для конструкцій, які складаються внапуск у монтажних умовах (7);
- гребінка на прихватах для складання крутих листових конструкцій (8);
- прихватні шайби з планками і клинами для складання листових конструкцій (9);

— гвинтовий струбціна для складання конструкцій з листовим штабового та профільного металу (10);

— сталевий клин для складання циліндрів і трубопроводів великого діаметра (11);

— тисковий хомут з ексцентричним затискачем для складання подовжніх швів циліндричних деталей (12);

— гвинтовий розмірно-сталевий пристрій для складання листових конструкцій і плоскостинних виробів (13);

— газ із ломом для зближення кромки при монтажній складанні крутих листових конструкцій (14);

— гвинтовий розмір для складання циліндричних деталей (15);

— клиновий розмір для складання деталей машинобудівних конструкцій (16);

— гвинтова упорна скоба для складання деталей обмеженого розміру (17);

— односторонній гвинтовий упор для складання цоколів ферм та інших конструкцій (18);

— односторонній упор для складання конструкцій на стаціонарних постах (19).

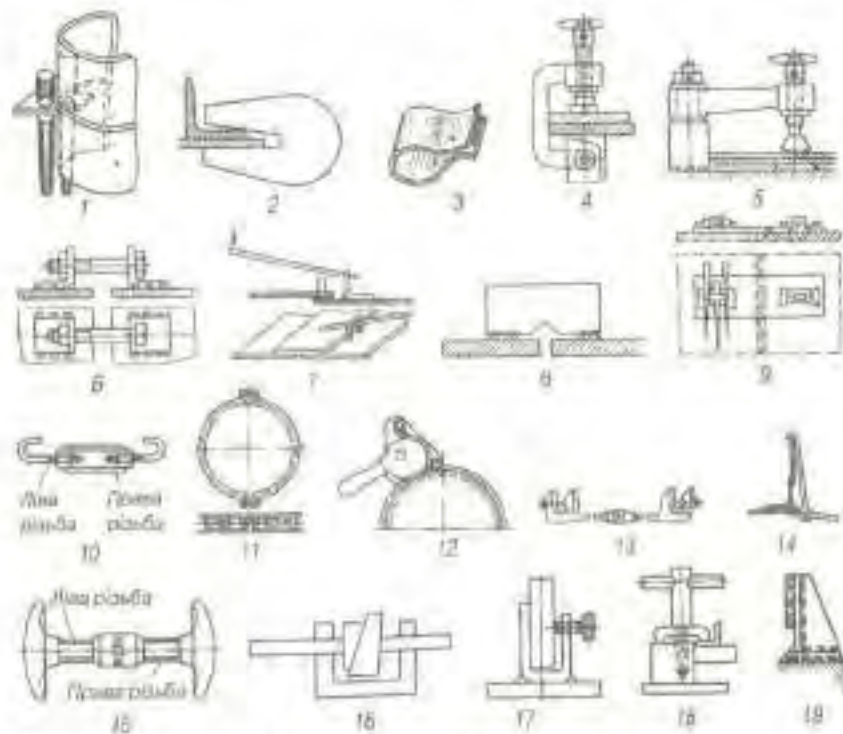


Рис. 7.2. Складальні-зв'язні пристосування

Складені деталі з'єднують прихватками. Залежність довжини прихваток і відстані між ними від товщини металу й довжини шва вказані в табл. 7.1. Накладання прихваток необхідне для того, щоб положення деталей і з'єдн. між ними були постійними в процесі зварювання. Прихватки повинні проварювати каріть шва, тому що при накладанні основного шва вони можуть повністю не перекритися.

Таблиця 7.1

Залежність довжини прихваток і відстані між ними від товщини металу та довжини шва

Товщина металу, мм	≤ 5	≤ 5
Довжина шва, мм	≤ 150-200	≤ 200
Довжина прихваток, мм	≤ 5	20-30
Відстані між прихватками, мм	50-100	300-300

Висота відслівлення прихваток повинна бути невеликою, краще якщо вона буде трохи увігнутю. Прихватки виконують на тих же режимах, що й зварювання.

При зварюванні між прихватки не бажані, тому що вони викликають тріщини при повторному нагріванні. Тому деталі слід закріплювати в кондукторах або інших пристосуваннях.

Зварювальні прихватки — це короткі шви з поперечним перерізом до 1/3 поперечного перерізу повного шва. Довжина прихваток від 20 до 120 мм залежно від товщини зварюваних деталей і довжини шва. Відстані між прихватками залежно від довжини шва становить 300-1000 мм. Якщо прихватки замінюють суцільним швом невеликого перерізу. Під час зварювання особливу увагу слід приділяти детальній проварюванню ділянок прихватки, щоб уникнути неспрару в цих місцях.

Прихватки перешкоджають переміщенню деталей при нагріванні, що може викликати появу тріщин у прихватках від шкв. охолодження. Чим більша товщина основного металу, тим більша розтягуюча усадка в прихватках і можлива поява тріщин. Тому прихватки застосовують для деталей невеликої товщини (до 6-8 мм). При більшій товщині листів рухливість деталей забезпечують за допомогою гребінок (самостійних прихваток) або складають виріб із ступінчаста деталлю (решітка, ферма тощо).

Зварювання стикових з'єднань деталей різної товщини (рис. 7.3) при різниці, що не перевищує вказаних у табл. 7.2 значень, повинне виконуватися так само, як деталей однакової товщини. Конструктивні елементи підготовлених кромок і розміри зварного шва вибирають за більшою товщиною.

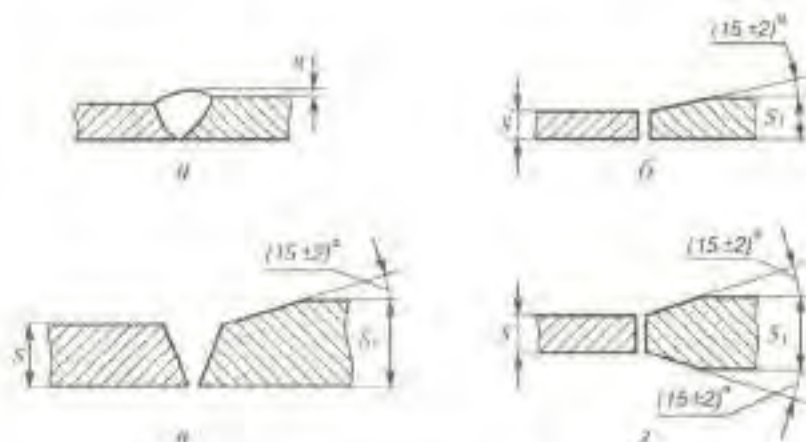


Рис. 7.3. Підготовка кромок деталей різної товщини

Таблиця 7.2

Допустима різниця між товщиною зварюваних деталей

Товщина тонкої деталі, мм	Різниця товщин деталей, мм
1-4	1
4-20	2
20-30	3
більше 30	4

Для здійснення плавного переходу від однієї деталі до іншої допускається похиле розташування поверхні шва (рис. 7.3 а).

Якщо різниця в товщині зварюваних деталей більша вказаних в табл. 7.2 значень, то на деталі більшої товщини має бути зроблений скіс однієї або двох кромок до товщини тонкої деталі (рис. 7.3 б, в, г). При цьому конструктивні елементи підготовлених кромок і розміри зварного шва вибирають за меншою товщиною.

Допускається зміншення зварюваних кромок не більше:

0,5 мм — для деталей товщиною до 4 мм;

1,0 мм — для деталей товщиною 4-10 мм;

0,1 S, але не більше 3 мм — для деталей товщиною 10-100 мм;

0,01 S + 2 мм, але не більше 4 мм — для деталей товщиною понад 100 мм.

Катети кутового шва повинні встановлюватися при проектуванні зварного виробу, але не більше 3 мм для деталей товщиною до 3 мм включно і 1,2 товщини більш тонкої деталі при зварюванні деталей товщиною понад 3 мм.

При використанні електродів із вищим тимчасовим опором розриву, ніж основного металу, катет кутового шва може бути зменшений. Допускається підсилення або послаблення кутового шва до 30% його катета, але не більше 3 мм. При цьому послаблення не повинно призвести до зменшення розрахункового катета.

Допускається використовувати встановлені стандартом ГОСТ 5264-80 основні типи зварних з'єднань, конструктивні елементи й розміри зварних з'єднань при зварюванні у вуглекислому газі електродним дротом діаметром 0,8-1,4 мм (УП).

Підготовка зварюваних кромок потребує багато часу та витрат. Для якісного, надійного й швидкого розчищення кромок застосовують спеціальні кромкорізи (TKF 700, TKF 1500, TKF 104, TKF 1500 PLUS) німецького виробництва з електрич. і пневмоприводом. Цей ручний інструмент із довідальним різцем сколює стружку з з'єднань різних металів. Широко застосовують переносні електричні кромкосколювачі машини СНР-6, СНР-12 російського виробництва, обробка якими виконується шляхом сколювання кромок спеціальною фрезою.

Для захисту основного металу і зварювального обладнання від налипання бризків застосовують нові припарати ANTIPEARL, ARK/MPS (Німеччина). Їх поставляють в аерозольних балонах і наносять на поверхню за допомогою аерозольного розпилювача. Щоб уникнути прилипания бризків, зварюваний метал покривають на відстані 100 мм з двох сторін шва захисним шаром тини МВ (30-40% крейда, 60-70% вода), МЖС (30% крейда, 70% рідке скло) або ЦЖС (20-35% шкору, 65-80% рідке скло).

Для вимірювання температури поверхонь при дуговому газовому та зварюванні інших видів використовують температурні індикатори (олівці) й термофарби. Вони забезпечують точне вимірювання температури від 38°C до 1204°C. Існує 88 типів індикаторів. Це воскові стрижні, що змінюють зовнішній вигляд або стан при досягненні певної критичної температури. Для вимірювання температури металу на його поверхню термоолівцем наносять штрихи-мітки. Значення температури встановлюють за зміною кольору нанесених штрихів. Одним олівцем можна нанести близько 2000 штрихів-міток.

Контрольні запитання та завдання

1. Як виконують підготовку металів до зварювання?
2. Яким чином проводять розчищення кромок?
3. Як складають деталі для зварювання?
4. Як виконують прихватки?
5. Які пристосування використовують для складання деталей?

7.2. ОСНОВНІ ТИПИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ (ГОСТ 5264-80)

ГОСТ 5264-80 «Ручне дугове зварювання. Зварні з'єднання» встановлює основні типи, конструктивні елементи та розміри зварних з'єднань із сталей, а також сплавів на залізничелений і никелений основах, виконаних ручним дуговим зварюванням. Стандарт не поширюється на зварні з'єднання сталених трубопроводів за ГОСТ ом 16037-80. Основні типи зварних з'єднань повинні відповідати вказаним у табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80)

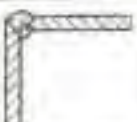


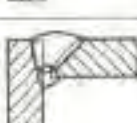


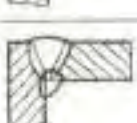
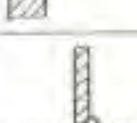

Форма зварюваного перерізу зварного шва	Уменьше позначення з'єднання	Товщина зварюваного металу, мм	Тип з'єднання	Форма підготовки кромок	Характер зварного шва
1	2	3	4	5	6
	C 1	1-4	Стикове	З підбортовкою кромок	Однобічний
	C 28	1-12	Стикове	З підбортовкою кромок	Однобічний
	C 3	1-4	Стикове	З підбортовкою однієї кромки	Однобічний
	C 2	1-4	Стикове	Без скою кромок	Однобічний
	C 4	1-4	Стикове	Без скою кромок	Однобічний на з'єднанні підкладці
	C 5	1-4	Стикове	Без скою кромок	Однобічний на підкладці, що залишається
	C 6	1-4	Стикове	Без скою кромок	Однобічний закритий
	C 7	2-5	Стикове	Без скою кромок	Двобічний
	C 42	6-12	Стикове	Без скою кромок й наступним струганням	Двобічний
	C 8	3-60	Стикове	Із скоєм однієї кромки	Однобічний
	C 9	3-60	Стикове	Із скоєм двох кромок	Однобічний на з'єднанні підкладці



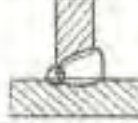



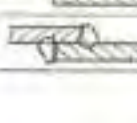
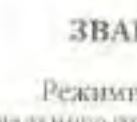
Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6
	C 10	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний на підкладці, що замикається
	C 11	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний замковий
	C 12	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Двобічний
	C 13	15-100	Стикове	Із криволінійним скосом однієї кромки	Двобічний
	C 14	15-100	Стикове	Із ланцетним скосом однієї кромки	Двобічний
	C 15	8-100	Стикове	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 16	30-120	Стикове	Із двома несиметричними криволінійними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 17	12-100	Стикове	Із двома несиметричними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 18	3-60	Стикове	Із скосом двох кромки	Однобічний
	C 19	3-60	Стикове	Із скосом двох кромки	Однобічний на підкладці, що замикається
	C 20	6-100	Стикове	Із скосом двох кромки	Однобічний замковий
	C 21	3-60	Стикове	Із скосом двох кромки	Двобічний
	C 45	8-40	Стикове	Із скосом кромки із присутнім округленням	Двобічний

Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6
	C 23	15-100	Стикове	Із криволінійним скосом однієї кромки	Двобічний
	C 24	15-100	Стикове	Із ланцетним скосом однієї кромки	Двобічний
	C 25	8-120	Стикове	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 26	30-175	Стикове	Із двома несиметричними криволінійними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 27	30-175	Стикове	Із двома несиметричними скосами однієї кромки	Двобічний
	C 28	12-120	Стикове	Із двома несиметричними скосами кромки	Двобічний
	C 40	12-120	Стикове	Із двома несиметричними скосами кромки	Двобічний
	У 1	1-4	Кутове	Із підборточною однієї кромки	Однобічний
	У 2	1-12	Кутове	Із підборточною однієї кромки	Однобічний
	У 4	1-6	Кутове	Без скою кромки	Однобічний
	У 4	1-30	Кутове	Без скою кромки	Однобічний

1	2	3	4	5	6
	У 5	2-8	Кутові	Без скосу кромки	Двобічний
	У 5	2-30	Кутові	Без скосу кромки	Двобічний
	У 6	3-60	Кутові	Із скосом однієї кромки	Однобічний
	У 7	3-60	Кутові	Із скосом однієї кромки	Двобічний
	У 8	8-100	Кутові	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	У 9	3-60	Кутові	Із скосом двох кромки	Однобічний
	У 10	3-60	Кутові	Із скосом двох кромки	Двобічний
	Т 1	2-40	Таврові	Без скосу кромки	Однобічний
	Т 3	2-40	Таврові	Без скосу кромки	Двобічний

1	2	3	4	5	6
	Т 6	3-60	Таврові	Із скосом однієї кромки	Однобічний
	Т 7	3-60	Таврові	Із скосом однієї кромки	Двобічний
	Т 2	15-100	Таврові	Із криволінійним скосом однієї кромки	Двобічний
	Т 8	8-100	Таврові	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	Т 9	12-100	Таврові	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	Т 5	30-120	Таврові	Із двома симетричними криволінійними скосами однієї кромки	Двобічний
	П 1	2-60	Внапуск	Без скосу кромки	Однобічний
	П 2	2-60	Внапуск	Без скосу кромки	Двобічний

7.3. РЕЖИМИ РУЧНОГО ДУТОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Режим зварювання – це сукупність різних факторів зварювального процесу, які забезпечують стійке горіння дуги і одержання швів заданих розмірів, форми та якості. До таких факторів відносять діаметр електрода, сила зварювального струму, тип і марка електрода, швидкість на дузі, різ і полярність зварювального струму, швидкість зварювання, розташування шва у просторі, попередній підігрів і наступна термічна обробка.

Діаметр електрода встановлюється залежно від товщини зварювального металу (табл. 7.4), типу зварного з'єднання, розташування шва у просторі, розмірів деталі й складу зварюваного металу.

Таблиця 7.4

Вибір діаметра електрода залежно від товщини металу

Товщина зварюваного металу, мм	1,5	2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16-20
Діаметр електрода, мм	1,6	2	3	3-4	4	4-5	5	5) більше

Для зварювання вертикальних, горизонтальних і стельових швів, незалежно від товщини металу, застосовують електроди діаметром до 4 мм, оскільки при цьому легше здійснити сканування рідкого металу.

У випадку багатозварового зварювання для кращого провару кореня шва першій шов зварюють електродами діаметром 3-4 мм, а наступні шви — електродами більшого діаметра. При цьому площа поперечного перерізу першого шару (проходу) не повинна перевищувати 30-35 мм². Площу можна визначити за формулою:

$$F_1 = (6-8) d_e^2$$

де F_1 — площа поперечного перерізу першого шару (проходу), мм²; d_e — діаметр електрода, мм.

Площа поперечного перерізу наступних шарів (проходів) може бути збільшена і визначається за формулою:

$$F_n = (8-12) d_e^2$$

де F_n — площа поперечного перерізу наступних шарів, мм².

Знаючи площу поперечного перерізу розчищених кромок, можна визначити необхідну кількість шарів за формулою:

$$n = \frac{F_p - F_1}{F_n} + 1,$$

де F_p — площа поперечного перерізу розчищених кромок, мм²; n — кількість шарів (проходів).

Зварювальний струм встановлюється залежно від вибраного діаметра електрода. Для зварювання в нижньому положенні шва його приблизно можна визначити за формулою:

$$I_w = K d_e$$

де I_w — сила зварювального струму, А; K — коефіцієнт пропорційності, який залежить від типу електрода і його діаметра, А/мм (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

Значення коефіцієнта пропорційності залежно від діаметра електрода

Діаметр електрода, (d_e), мм	1-2	3-4	5-6
Коефіцієнт пропорційності (K), А/мм	25-30	30-35	45-60

Для підбору сили зварювального струму можна використати деяко спрощену формулу:

$$I_w = (20 + 6 d_e) d_e,$$

де I_w — сила зварювального струму, А; d_e — діаметр електрода, мм.

Якщо товщина металу менша $1,5 d_e$ при зварюванні в нижньому положенні, то I_w зменшують на 10-15% порівняно з розрахунковим. Якщо товщина металу більша $3 d_e$, то I_w збільшують на 10-15% порівняно з розрахунковим.

При зварюванні на вертикальній площині струм зменшують на 10-15%, а в стельовому положенні — на 15-20% порівняно з нормальною вибраною силою струму для зварювання у нижньому положенні.

При виконанні зварювання якісними електродами силу струму необхідно встановлювати відповідно з даними, вказаними в паспортах або сертифікатах на ці електроди.

Встановлену силу зварювального струму перевіряють контрольним наплавленням пробних валиків, визначаючи при цьому глибину провару, ширину шва та стійкість горіння дуги. Глибина провару повинна становити 1-4 мм, а ширина шва має бути в межах, яку визначають за формулою:

$$e = (1-4) d_e$$

де e — ширина шва, мм.

Горіння дуги повинне бути стійким при незначному розбризкуванні рідкого металу.

Відносно малий зварювальний струм призводить до нестійкого горіння дуги, непровару, низької продуктивності, а надмірно великий струм — до сильного нагрівання електрода, збільшення швидкості плавлення електрода і непровару, підвищеного розбризкування металу та погіршення формування шва.

Тип і марку електрода вибирають залежно від необхідної міцності шва, надання йому спеціальних властивостей, марки металу, товщини деталі, жорсткості виробу, температури навогнивання середовища, просторового розташування, умов

експлуатації виробу. Електридит повинні забезпечувати гідну різницю хімічного складу наплавленого металу з основним.

Напруга на дугі прямо залежить від довжини дуги і становить 16–40 В. Зварювати слід коротшою дугою з напругою 16–20 В. Нормальною вважається дуга довжиною $(0,5-1,1) d_e$, залежно від типу і марки електрода і положення зварювання у просторі.

Рід струму й полярність установлюють залежно від зварюваного металу і його товщини. При зварюванні звичайних вуглецевих сталей застосовують змінний струм, як дешевший порівняно з постійним. Застосовуючи постійний струм, установлюють пряму або зворотну полярність. На прямій полярності зварюють товсті метали, тому що на основному металі нагрівається більше тепла.

Зворотну полярність використовують для зварювання тонких металів, щоб уникнути пропалів і при зварюванні високолегованих сталей для зменшення їх перегрівання.

Швидкість зварювання встановлюється залежно від вибраного способу зварювання, властивостей основного металу, характеристики електрода тощо.

Для уникнення перегрівання металу високолеговані сталі зварюють на більших швидкостях, ніж звичайні низьковуглецеві і низьколеговані.

Швидкість переміщення електрода встановлює зварник.

Розташування шва у просторі має велике значення при виборі основних режимів зварювання. Ручне дугове зварювання використовують у всіх просторових положеннях шва. Напірочною є нижнє положення, яке забезпечує високу якість зварного шва.

Попередній підігрів і наступна термічна обробка призначені для зварювання середньо- і високовуглецевих сталей, схильних до утворення гартованих структур, чавунів, кольорових металів та їх сплавів. Температура й способи підігріву та термічної обробки залежать від хімічного складу, товщини й розмірів виробу.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називають режимом зварювання?
2. Охарактеризуйте режим ручного дугового зварювання покритим електродом.
3. Як підбирають діаметр електрода?
4. Як визначають силу зварювального струму?
5. Що називають прямою полярністю?
6. Коли використовують зворотну полярність?
7. Як установлюють швидкість зварювання?

7.4. ВІЛИВ ПОКАЗНИКІВ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ НА РОЗМІРИ ТА ФОРМУ ШВА

Режими зварювання значно впливають на якість, розміри та форму шва. Зменшення діаметра електрода при постійному зварювальному струмі підвищує густиву струму в електроді й сприяє провару, що пояснюється збільшенням тиску дуги. При цьому також зменшується ширина шва за рахунок зменшення катодної та анодної плім. Ширина шва при зварюванні на прямій полярності менша ніж на зворотній, а значить менша порівняно із зварюванням на змінному струмі.

Глибина провару прямо залежить від сили струму. При її збільшенні глибина провару також збільшується і навпаки. На прямій полярності глибина провару більша, ніж при зворотній полярності. При зварюванні змінним струмом провар на 15–20% менший, ніж при зварюванні постійним струмом.

На впливом тиску дуги, який збільшується з ростом струму, розплавлений метал витискується з-під дуги, що призводить до висхідного пропалювання. Напряг тиску дуги можна змінювати шляхом електрода до виробу. При зварюванні кутом уперед зменшується глибина провару і збільшується ширина шва, а при зварюванні кутом назад провар збільшується і зменшується ширина шва. Коли зварювання ведуть на підйом, то збільшується глибина провару й зменшується ширина шва, а при зварюванні на спуск — навпаки.

Напруга дуги мало впливає на глибину провару, але має пряму залежність із шириною шва — при підвищенні напруги ширина шва збільшується. Підвищення напруги дуги за рахунок збільшення її довжини призводить до зниження зварювального струму, а відповідно, й до зменшення глибини провару.

Глибина провару також залежить від амплітуди коливання кінця електрода — чим більша амплітуда, тим менший провар. Підвищення швидкості зварювання призводить до зменшення глибини провару та ширини шва.

Температура навколишнього середовища (від -60 до $+80$ °C) практично не впливає на глибину провару й ширину шва. Суттєві зміни в бік збільшення спостерігаються при попередньому підігріві до 500 °C.

Контрольні запитання та завдання

1. Як впливають режимні зварювання на розміри і форму шва?
2. Що впливає на глибину провару?
3. Який вплив має напруга на параметри шва?

7.5. ЗАПАЛЮВАННЯ ДУГИ Й ТЕХНІКА МАНІПУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДОМ

Для правильного ведення зварювальних робіт необхідно, щоб зварювальна дуга задовільно тисла на метал:

- легко і швидко запалюватися;
- стійко горіти;
- чутливість дуги до зміни її довжини в заданих межах повинна бути мінімальною;
- забезпечувати необхідне проплавлення основного металу.

Запалювання зварювальної дуги проводиться короточасним дотиком кінця електрода до виробу. Внаслідок протікання струму короткого замикання і наявності контактної опору торці електрода швидко нагріваються до високої температури, при якій після відливу електрода під впливом термо- і автоелектронної емісії проходить іонізація газового проміжку і виникає зварювальна дуга. Для цього зварювачу необхідно відвести кінць електрода від основного металу на відстань 3–5 мм.

Запалювання дуги можна виконувати двома способами (рис. 7.4): шпигула – короточасним дотиком кінця електрода до поверхні виробу й прямим відливом електрода після короткого замикання, а також чирканням – рухом кінця електрода як сиринком. Перший спосіб часто застосовують при запалюванні у вузьких і незручних місцях.

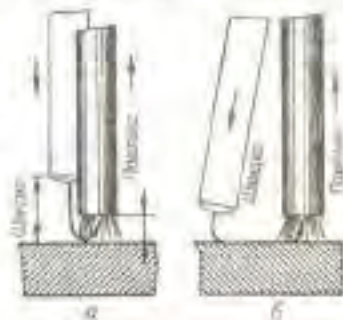


Рис. 7.4 Способи запалювання зварювальної дуги:
а – шпигула, б – чирканням

Застосування джерел живлення із стабілізаторами дуги змінного струму (СД-2, СД-3, СД-4), осциляторами (ОСНІЗ-300М, УЦД-1), стабілізаторами постійного струму (ВІС-501, ВІР-101) попереджує помилкове та повторне запалювання дуги і забезпечує можливість зварювання на змінному струмі електродом, призначеним для зварювання на постійному струмі.

Дугу переміщують таким чином, щоб забезпечувалось проплавлення зварюваних кромок та одержання необхідної якості наплавленого металу при нормальному формуванні шва. Для цього електродом виконують складні рухи у трьох напрямках (рис. 7.5).

Перший (1) поступальний рух електрода у напрямку його осі виконується зі швидкістю плавлення електрода та забезпечує підтримання стабільної довжини дуги. Нормальною вважається дуга довжиною $(0,5-1,2) d_e$ (d_e – діаметр стижка електрода), залежно від типу і марки електрода та розташування шва у просторі. Збільшення довжини дуги бачаєть стійкість її горіння, умітності провару

відношує розбрикування металу, посилає шкідливий вплив на колоїдний середовища, а зменшення довжини дуги призводить до короткого замикання. Вміння підтримувати довжину дуги постійною характеризує кваліфікацію зварника.

Другий рух (2) електрода вздовж осі шва виконується зі швидкістю зварювання. В результаті першого і другого рухів утворюється вузький, шпирною $(0,8-1,5) d_e$ штиковий шов (валік), який застосовують при виконанні поверхового швару багатопрохідного шва та при зварюванні тонких металів.

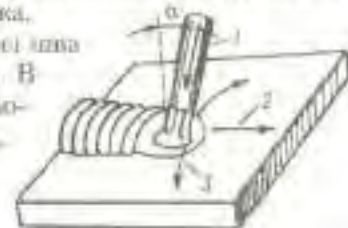


Рис. 7.5. Переміщення електрода у трьох напрямках:

Третій рух (3) – це коливання кінця електрода поперек шва для утворення валіка певної ширини, нормального провару кореня та кринок і уповільнення охолодження зварної ванни. Ширина одностороннього шва з коливальними рухами має становити $(2-4) d_e$. Коливальні рухи електродом поперек шва визначаються розмірами, формою та розташуванням шва у просторі й поділяються на три групи:

- для рівномірного прогрівання зварної ванни;
- для відсиленого прогрівання кореня шва;
- для відсиленого прогрівання кромок.

Найпоширенішими поперечними коливальними рухами є такі (рис. 7.6):

а – прямі за заданою лінією з кроком 2–3 мм (для зварювання листів устак без скосу кромок у певному положенні та коли неможливий провал металу);

б – півмісяцем, повернутим кінцями до наплавленого шва (для стикових швів зі скосом кромок і для кутових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні);

в – півмісяцем, повернутим кінцями в напрямку зварювання (для стикових швів зі скосом кромок і для кутових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні).



Рис. 7.6. Коливальні рухи кінцем електрода поперек шва:

а – прямі за заданою лінією; б – півмісяцем, повернутим кінцями до шва; в – півмісяцем, повернутим кінцями в напрямку зварювання; г – трикутником; д – трикутником із заданим кінцем електрода в корені шва; е, з – півмісяцями.

d – трикутником (для стикових швів зі скосом кромки у будь-якому положенні та для кутових швів із катетом більше 6 мм);

e – трикутником із затримкою електрода в корені шва (для зварювання товстостінних конструкцій в гарантованам прощадженям кореневої ділянки шва).

e, e – петлеподібні (для більшого прогріву кромки шва і при зварюванні листів із високолегованих сталей, через їх високу текучість і щоб уникнути прилаву у центрі шва).

У рядкому металі при горінні дуги утворюється заглиблення – кратер, який є місцем накопичення неметалевих включень, що може призвести до виникнення тріщин. Тому при обриві дуги і при зміні електрода повторно запалювання дуги слід виконувати перед кратером (рис. 7.7), потім перемістити електрод назад, розваривши метал кратера, і продовжити процес зварювання. При зварюванні уважно слідкувати за розплавленням кромки, кінця електрода, проваром кореня шва та не допускати затікання рідкого шлаку наперед дуги.

В кінці шва не можна відразу обривати дугу і залишити кратер. Це може спричинити появу тріщин через зміст у кратері шкідливих домішок, насамперед сірки й фосфору. Не рекомендується також заварювати кратер декількома обривами і запалюваннями дуги через утворення окисних забруднень металу. Зварювання закінчують заварюванням кратера. Для цього електрод тримають нерухомо до природного обриву дуги або свильно викорюють дугу до частих коротких замикань, після чого дугу різко обривають. При зварюванні нішкочуглених сталей кратер заповнюють електродним металом або виводять його на основний метал. У середньо- і високовуглецевих сталях, схильних до утворення гартованих структур, швидкратера на основний метал не допустимий, через можливість утворення тріщин. Інколи кратер виводять на окрему технологічну пластину. В мієних повороту шва виконують без обриву дуги в одній захід. Гасити й запалювати дугу на вибороті шва не дозволяється.

Контрольні запитання та завдання

1. Як здійснюється запалювання дуги?
2. Які є способи запалювання дуги?
3. Як виконують поступальний рух електрода?
4. Яким рух забезпечує підтримування певної довжини дуги?
5. Коли виконують похильний рух електродом?

6. Чим відзначається похильний рух електрода?
7. Що таке похильний рух?
8. Як виконують довжину дуги?
9. Що означають кратером?
10. Як треба запалювати дугу після її обриву?
11. Де накопичуються неметалеві домішки?
12. Як заварюють процес заварювання?

7.6. ЗВАРЮВАННЯ СТИКОВИХ ШВІВ У НИЖЬОМУ ПОЛОЖЕННІ

Стикові з'єднання без скося кромки зварюють одностороннім швом із підтримуванням електрода діаметром рівним товщині металу, якщо вона не перевищує 4 мм. Дугу збуджують із краю скося кромки в точці А (рис. 7.8 а), а потім, перемістивши її вниз, проварюють корінь шва. На скосях кромки рух електрода уповільнюють, щоб кромки їх проварити. При переході дуги з однієї кромки на іншу швидкість руху електрода збільшують для того, щоб уникнути прощадлу в місці зазору.



Рис. 7.7. Заповнення дуги після обриву:

1 – місце повторного запалювання; 2 – кратер.

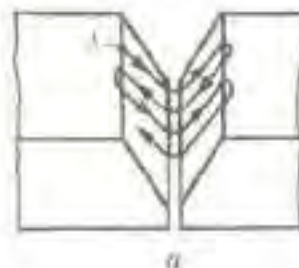


Рис. 7.8. Зварювання стикових швів:

а – односторонній; б – багатопрохідний
1-7 – послідовність накладання швів



Листи без скося кромки товщиною 4–8 мм зварюють двостороннім швом. Тонкостінний метал товщиною до 1–2 мм зварюють із відбортюванням кромки або складають без зазору і зварюють на мієній чи сталевій підкладці, що залишається після зварювання. Це має можливість уникнути паскрієних вроняч.

Метал товщиною понад 8 мм зварюють із розширенням кромки. Залежно від товщини металу, шви виконують одностороннім, багатопрохідним або багатопрохідним. Великий кут розширення кромки (80–90°) більш зручний для зварника, зменшує небезпеку непровару кореня, але збільшує об'єм наплавленого металу, відповідно зменшує продуктивність і збільшує деформації виробу. Нормальним вважається кут розширення 60°. Його збільшують до 65° для тонких металів і зменшують до 55° для металів товщиною понад 15 мм. При цьому зазор і притуплення кромки становить від 1,5 до 4,0 мм залежно від товщини металу, режимів зварювання й конструкції виробу.

Одношарові та однопрохідні шви з V-подібним скосом кромки виконують для металів товщиною від 4 до 8 мм із поперечними колінвальними рухами у вигляді трикутника без затримки у корені шва (товщиною 4 мм) і затримкою у корені шва (8 мм).

Листя товщиною понад 8 мм зварюють багатшаровими або багатпрохідними швами з V-подібним (рис. 7.8 б) і X-подібним розчищенням кромки. Вибір багатшарового або багатпрохідного шва залежить від товщини зварюваного металу та його хімічного складу. Багатшаровий шов виконується ливидше багатпрохідного. Після виконання кожного наступного шару попередній шар детально зачищають від шлаку. Багатпрохідний шов виконується тонкими й вузькими валиками без поперечних колінвальних рухів електрода.

Кожний шар багатшарового шва має збільшений переріз порівняно з перерізом кожного валика при багатпрохідному зварюванні, тому багатшаровий шов забезпечує вищу продуктивність. Багатшарове зварювання має переваги над одношаровим:

- зменшується об'єм зварної ванни, в результаті швидкість охолодження металу збільшується і розміри зерен зменшуються;
- кожний наступний шар термічно обробляє метал попереднього шару і близькова зона має дрібнозернисту структуру з підвищеною пластичністю та в'язкістю;
- хімічний склад основного металу близький до хімічного складу наплавленого металу тому, що мала сила зварювального струму сприяє розплавленню незначної кількості основного металу.

Щоб метал достатньо прогрівався і відплавився, кожний шар шва повинен мати товщину не більше 4–5 мм і не менше 2 мм. При зварюванні з X-подібним скосом кромки металу товщиною 12 мм треба накласти 4–6, а при товщині 40 мм – 10–16 шарів. Двобічні X-подібні шви мають переваги над однобічними V-подібними:

- зменшення деформацій;
- зменшення об'єму наплавленого металу, а значить підвищення продуктивності зварювання;
- можливий непровар у корені шва розташований в нейтральному перерізі, тому менш небезпечний.

Стикові шви листів великої товщини (понад 20 мм) для цього зварювати з криволинійним скосом двох кромки, що дає можливість застосовувати електроди великого діаметра, забезпечувати надійний провар і рівномірну усадку металу шва.

Для зменшення жолоблення виробу рекомендують виконувати шви по чергово то з одного, то з іншого боку листа.

При зварюванні відповідальних конструкцій виконують зворотнє підварювання кореня шва (рис. 7.9). Для цього вироб перевертають і зубилом, різцем чи фрезою утворюють в корені шва канавку шириною 8–10 мм і глибиною 3–4 мм. Цю канавку зварюють за один прохід підварюним швом з невеликим підсиленням електродаом

діаметром 3 мм. Останнім проходом створюється підсилення шва висотою 2–3 мм над поверхнею основного металу. Термічна обробка металу верхнього шару виконується нанесенням відпалювального (декоративного) шару товщиною 1–2 мм, який забезпечує високу швидкість охолодження металу і дрібнозернисту структуру верхнього шару електродами діаметром 5–6 мм.

Орієнтовні режими зварювання стикових швів вказані в табл. 7.6 і 7.7.

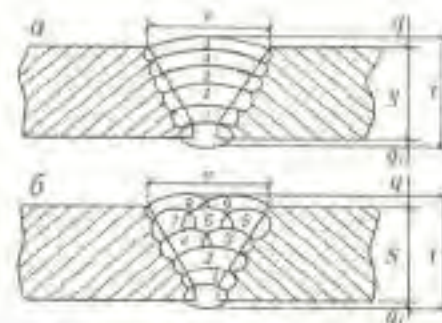


Рис. 7.9. Зварювання багатшарових і багатпрохідних швів із зворотнім підварюванням кореня:

a – багатшаровий; б – багатпрохідний; S – ширина шва, S – товщина основного металу; t – товщина шва; d – підсилення шва; d1 – підсилення кореня шва; 1–9 – порядок накладання валиків

Таблиця 7.6

Орієнтовні режими зварювання стикових швів без скосу кромки

Товщина металу, мм	Шов	Зазор, мм	Діаметр електрода, мм	Середнє значення сили струму, А	
				нижнє положення шва	вертикальне і стелеве положення шва
3–4	Однобічний	1,0	3–4	180	160
5–6	Двобічний	1,0–1,5	4–5	180–260	160–230
7–8	Двобічний	1,5–2,0	5	260	230
10	Двобічний	2,0	6	330	290

Таблиця 7.7

Орієнтовні режими зварювання V-подібних стикових багатшарових швів

Товщина металу, мм	Зазор, мм	Число шарів, крім підварювального і декоративного	Діаметр електрода, мм		Середнє значення сили струму, А		
			перший шар	наступні шари	положення шва		
					нижнє	горизонтальне	вертикальне
10	1,5–2,0	2	4	5	180–260	160–220	150–210
12	2,0–2,5	3	4	5	180–260	160–220	150–210
14	2,5–3,0	4	4	5	180–260	160–220	150–210
16	3,0–3,5	5	4	5	180–260	160–220	150–210
18	3,5–4,0	6	5	6	220–320	200–300	180–280

Примітка. Максимальне значення сили струму встановлюється за даними, вказаними в паспорті електродів.

Зварювання стикових з'єднань на підкладках. Несучу здатність стикових швів забезпечують:

- провар кромки за перерізом і в корені шва;
- суцільність металу шва (відсутність тріщин, пор, свистів, неметалевих включень);
- плавний перехід від шва до основного металу;
- зовнішня форма шва.

Найбільші труднощі виникає якісне сплавлення кромки у корені шва, бо наявність навіть невеликого непровару може стати джерелом руйнування з'єднання. Щоб уникнути непровару при зварюванні відповідальних варіантів, застосовують двохсторонні шви з проміжним струтанком для видалення кореневої частини першого шару або підкладки (сталеві, мідні, графітові), фанеро-керамічні на латексній основі та ін.).

В інституті ім. Є. О. Патона розроблені шпумі клеючі скляні підкладки, в яких за основу використовують м'яку алюмінієву фольгу, покриту шаром клею постійної липкості (див. рис. 6.6). Довжина скляної підкладки становить 500 мм, ширина — 25 мм. Приклеюють підкладку з боку кореня симетрично до кромки, а після виконання кореневого проходу відклеюють.

Контрольні запитання та завдання

1. Де збуджують дугу при зварюванні стикових з'єднань?
2. Чому збільшують швидкість руху електрода при переході з однієї кромки на іншу?
3. Для чого перед викладанням наступного шару попередній детально вичищають?
4. Як виконують підварний шов?
5. Як зварюють деталі товщиною 1–2 мм?
6. Коли виконують підварний шов?

7.7. ЗВАРЮВАННЯ КУТОВИХ ШВІВ

Кутіві шви застосовуються при зварюванні кутових і таврових з'єднань, а також з'єднань внапісок. Зварювання кутових швів виконують похилим електродом і «у човник».

При зварюванні кутових швів «у човник» (рис. 7.10 в) наплавлений метал буде накладатися в жолоб, утворений двома полицями. Це забезпечує нормальний провар кореня шва і правильне його формування. Зварювання кутових швів «у човник» з товщиною листів до 14 мм можливе без скоєсу кромки (двобічне зварювання) або з частковим розчищенням кромки і збільшенням розміром притуплення. Скоєр між кромками не повинен перевищувати 10% товщини листа.

Для уникнення непровару в одязі кромки, зварювання «у човник» краще вести електродом, який дозволяє зобразити покриття на кромки.

При зварюванні кутових швів похилим електродом (рис. 7.10 а, б) можливий непровар кореня шва і кромки нижнього листа. Щоб уникнути непровару дугу збуджують на нижній полиці у точці А, відступивши від катета шва 3–4 мм. Потім дугу переміщують до вершини шва, де її трохи затримують для кращого провару кореня шва і піднімають дугу, проварюючи вертикальну полицку. Цей же процес повторюють у зворотному напрямку. Починати зварювання на вертикальній полицці не можна через те, що розплавлений метал з електрода буде надливати на ще холодний основний метал нижньої полицки, в результаті чого утвориться непровар. На вертикальній полицці можливе утворення підвілля. Прогрівання кромки досягається правильним положенням електрода, який треба тримати під кутом 45° до поверхні листів і виконувати поперечні коливальні рухи трикутником без затримки або з затримкою в корені шва (рис. 7.11). Кут нахилу електрода змінюється в процесі зварювання залежно від того, на якій полицці в даний момент горить дуга.

Кутіві шви в нижньому положенні з катетами до 10 мм зварюють в один шар електродами діаметром до 5 мм (інколи без коливальних рухів).



Рис. 7.10. Зварювання кутових швів. а — трискотна рука кінця електрода, б — зміна кута нахилу електрода, в — зварювання «у човник»

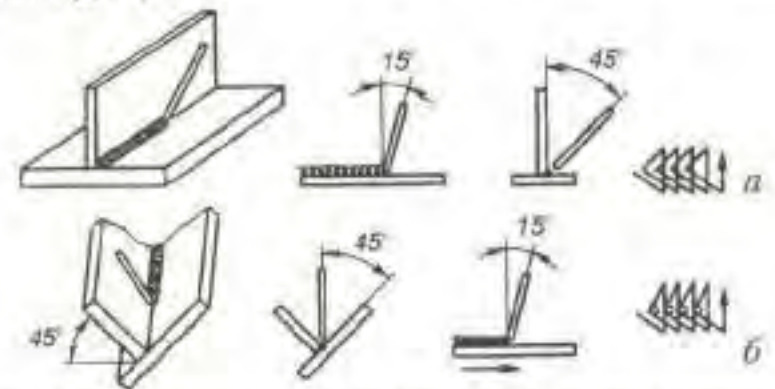


Рис. 7.11. Зварювання кутових швів із коливальними рухами електрода: а — трикутником без затримки в корені шва, б — трикутником із затримкою в корені шва

Кутові шви без скосу кромки із катетами більше 10 мм виконують в одній ввар, але з поперечними коливальними рухами електроду трикутником із затримкою електроду в корені шва.

При виготовленні відповідальних виробів застосовують кутові шви з одностороннім або двостороннім скосом кромки (рис. 7.12). Кромки розчищають під кутом $50 \pm 5^\circ$. При товщині стінок до 4 мм виконують одноваровий шов. При товщині металу більше 4 мм зварюють у декілька шарів і проходів, а для кращого провару кореня шва верхній прохід виконують інтековим швом електродом діаметром 3–4 мм без коливальних рухів.



Рис. 7.12. Зварювання кутових швів:
а — із скосом однієї кромки (однобічний);
б — із скосом двох кромки (двобічний)

При накладанні кутових швів похилим електродом і «у човник» зварювати краще кутом назад. У багатопарових кутових швах, зварених похилим електродом, можливі нерівні катети, що допускається при проектуванні зварних виробів.

Орієнтовні режими електрозварювання кутових швів вказані в табл. 7.8 і 7.9.

Орієнтовні режими зварювання кутових швів «у човник» з використанням електроду

Товщина зварних листів, мм	Катет шва, мм	Діаметр електроду, мм	Сила струму, А
4–6	5	5	250–300
6–8	6	6	300–350
10–14	8	8	480–560

Таблиця 7.8

Орієнтовні режими зварювання кутових швів зі скосом кромки

Вид шва	Товщина металу, мм	Число шарів або проходів	Діаметр електроду, мм	Сила струму, А
Однобічний	4	1	3–4	120–160
	6	1	4–5	160–220
	8	1–2	4–5	160–220
	12	3–4	4–6	160–300
	20	6–8	4–6	160–320
Двобічний	10	2–4	4–6	160–320
	20	4–8	4–6	160–360
	40	8–16	4–6	160–360
	60	16–30	5–6	220–360
	80	30–40	5–6	220–360

П р и м і т к а. Максимальне значення сили струму встановлюється за даними, вказаними у паспорті електроду.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвати способи зварювання кутових швів.
2. Де зблужують дугу при зварюванні похилим електродом?
3. Чому дугу затримують у вершині шва при зварюванні похилим електродом?
4. Що роблять для кращого проварювання кореня шва при кутовому зварюванні?
5. Чому не можна похилити зварювання на вертикальній площині кутового з'єднання?
6. Як зварюють кутові шви «у човник»?

7.8. СПОСОБИ ВИКОНАННЯ ШВІВ ЗА ПЕРЕРІЗОМ

При зварюванні стикових і кутових швів великого перерізу шов виконується декількома шарами.

За способом заповнення швів за перерізом розрізняють одноварові, багатопарові та багатопрохідні багатопарові шви. Багатопаровим називають шов, якщо число шарів рівне числу проходів. Багатопрохідним називають шов, якщо деякі шари виконуються за декілька проходів. У стикових з'єднаннях частіше використовують багатопарові шви, а в кутових з'єднаннях — багатопрохідні.

При зварюванні товстих металів виконання кожного шару «на прохід» є небажаним через те, що це може призвести до значних деформацій та утворення тріщин у перших шарах. Причиною цього є

повне охолодження першого шару і нерівномірне нагрівання металу. Щоб запобігти утворенню тріщин шов заповнюють так, щоб кожен наступний шар накладався на ще неохолоджений попередній шар. Для цього слід забезпечити невеликий інтервал часу між накладанням окремих шарів. Це досягається застосуванням методів подвійного шару, секційним, каскадним методом, заповненням шва пркою і застосуванням блочного методу (рис. 7.13).

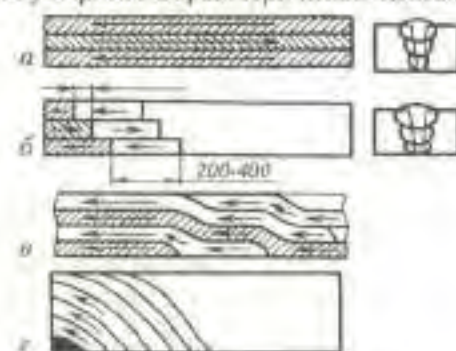


Рис. 7.13. Способи заповнення багатопарових швів:

а — способом подвійного шару; б — секційним; в — каскадом; г — пркою

Суть способу подвійного шару полягає в тому, що другий шар складають на неохолоджений перший після видалення штаку (рис. 7.13 а). Зварювання ведуть у протилежних напрямках. Це запобігає виникненню гарячих тріщин при товщині металу 15–20 мм.

Зварювання секціями (рис. 7.13 б) виконують по всій зварюваній товщині ділянками довжиною 200–400 мм. Довжину ділянки підбирають так, щоб метал у корені шва мав температуру не менше 200°C. Кожний наступний шлик наплавляється в протилежному напрямку. При цьому метал має високу пластичність і не утворюються тріщини.

При каскадному методі (рис. 7.13 в) весь шов розбивається на короткі ділянки довжиною 200 мм. Зварюють так, щоб після закінчення зварювання першого шару першої ділянки можна було, не зупиняючись, продовжувати виконання першого шару на сусідній ділянці. Тоді кожний наступний шар накладається на неохолоджений попередній шар. Цей спосіб застосовують при товщині металу 20–25 мм і більше.

Зварювання гіркою (рис. 7.13 г) є рівновидністю каскадного методу. Ведеться одним зварником проходами по всій товщині металу або двома зварниками одночасно від середини до країв. Зварювання гіркою та каскадом є зворотноступінчастим зварюванням не тільки за довжиною, але й за перерізом шва.

Метод зварювання блоками полягає в тому, що шов за довжиною ділиться на ділянки завдовжки 1 м. Шов завовнюють окремими ділянками по всій висоті перерізу шва. Кожна ділянка-блок виконується окремим зварником і починається від середнього блока. Після виконання першого проходу на першій ділянці, зварювання починають ще два зварники і т. д., поки всі ділянки за довжиною шва не будуть закріплені за зварниками. Таке одночасне виконання багатопрохідного шва за довжиною і перерізом забезпечує рівномірний розподіл температури, що зменшує внутрішні напруження та деформації. Блочний метод застосовують для зварювання товстостінової сталі, яка при цьому гаряється.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть способи виконання швів великого перерізу
2. Охарактеризуйте зварювання каскадним методом.
3. Яка послідовність зварювання гіркою?

7.9. СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ ШВІВ РІЗНОЇ ДОВЖИНИ

Залежно від довжини зварної шви умовно поділяються на три види: короткі – до 250 мм, середні – від 250 до 1000 мм і довгі – понад 1000 мм.

Короткі шви зварюють «на прохід» – від початку шва до його кінця (рис. 7.14 а).

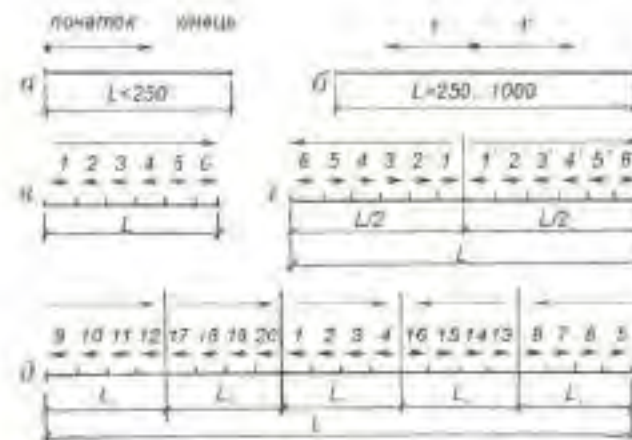


Рис. 7.14. Зварювання швів різної довжини:

а — «на прохід»; б — від середини до країв; в — зворотноступінчастий; г — зворотноступінчастий уразки

Щоб уникнути жолоблення деталей, при зварюванні швів середньої довжини застосовують такі способи: від середини до країв (рис. 7.14 б) і зворотноступінчастий (рис. 7.14 в). При зворотноступінчастому способі зварювання шов розбивають на ділянки довжиною від 100 до 350 мм, щоб кожна ділянка зварювалась однаковою кількістю електродів (двома, трьома і т. д.). Перехід з однієї ділянки на іншу поєднують із зміною електрода.

Кожна ділянка зварюється в напрямку, протилежному загальному напрямку зварювання. Остання ділянка завжди зварюється «на вихід» (у протилежний бік). Зворотноступінчасте зварювання є ефективним методом зменшення внутрішніх напружень і деформацій при зварюванні.

Довгі шви зварюють від середини до країв зворотноступінчастим способом (рис. 7.14 г). Для зварювання довгих швів доцільно організувати роботу одночасно двох зварників.

У багатопрохідних швах при зварюванні зворотноступінчастим способом місця стиків швів суміжних шарів дещо зміщують один відносно іншого через те, що в місцях початку і закінчення шва найвища вірогідність утворення дефектів. При зварюванні довгих швів одним зварником застосовують зворотноступінчастий спосіб уразки (рис. 7.14 д), де шов розбивають на окремі ділянки і зварюють у різних напрямках.

При зварюванні металів різної товщини на більш товстому звсті на ділянці довжиною $5S$ (S – товщина тоншого листа) роблять скіс з однієї або двох сторін до товщини більш тонкого листа, після чого підготовляють кромки.

Контрольні запитання та завдання

1. Яка довжина коротких швів?
2. Як зварюють шви «на прохід»?
3. Яка довжина середніх швів?
4. Як зварюють середні шви?
5. В чому суть зворотноступінчастого способу зварювання?
6. Яка довжина довгих швів?
7. Як зварюють довгі шви?
8. Як зварюють багатопарові шви зворотноступінчастим способом?
9. Якими способами виконують шви для рівномірного зварювання металу шва по всій його довжині?
10. У яких з'єднаннях частіше використовують багатопрохідні шви?

7.10. ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ШВІВ У РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ

За розташуванням швів у просторі в момент їх виконання розрізняють: нижні, горизонтальні, вертикальні й стельові шви. Проміжні положення відносять до одного з них відповідно до схеми (рис. 7.15).

Зварювання швів у вертикальному, горизонтальному та стельовому положеннях на відміну від нижнього має ряд особливостей.

Нижні шви найзручніші для зварювання тому, що краплі електродного металу під власною вагою легко переходять у зварну ванну. Крім того у цьому положенні зручно спостерігати за процесом зварювання.

Вертикальні шви зварюються знизу вгору і зверху вниз. При цьому основний і електродний метали скотують униз. Тому при вертикальному зварюванні зварювальний струм зменшують на 10–15% порівняно із зварюванням у нижньому положенні, а діаметр електрода не повинен перевищувати 4–5 мм. Щоб метал не витікав з ванни, слід підтримувати дуже коротку дугу, при якій відстань між краплями електродного і основного металу настільки мала, що між ними виникає взаємне притягування.

При зварюванні знизу вгору (рис. 7.16 а) дуга збуджується в нижній точці шва і після утворення зварної ванни електрод, спочатку встановлений горизонтально (положення 1), відводиться дотри

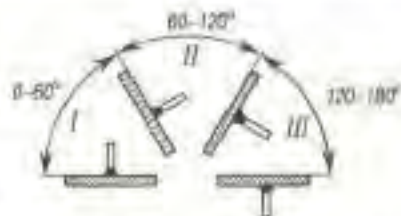


Рис. 7.15. Схема просторового розташування швів:

I — нижнє; II — вертикальне та горизонтальне; III — стельове

(положення 2) на кут 45–50°. При цьому нижня частина зварної ванни починає кристалізуватися і утворюється поленика, на якій утримуються краплі металу. Щоб запобігти штирцюванню металу з ванни необхідно здійснювати поперечні коливальні рухи електродом із відводом його вгору і по чергово в різні сторони. Це забезпечує швидку кристалізацію рідкого металу.

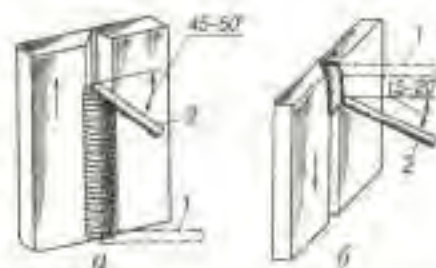


Рис. 7.16. Зварювання вертикальних швів:

а — знизу вгору; б — зверху вниз

При зварюванні зверху вниз (рис. 7.16 б) у початковий момент електрод розташовується перпендикулярно до основного металу і дуга збуджується у верхній точці шва. Після утворення зварної ванни електрод нахилюють на 15–20° так, щоб дуга направлялась на основний і наплавлений метал. У цьому випадку рідкий метал частково підтікає під дугу і товщина металу штучно збільшується, що дає можливість уникати провалів. Тому зварювання зверху вниз використовують для зварювання тонких металів. Для зменшення скотування металу застосовують електроди з целлоланним або плазмасосним покриттям органічного виду (ОЗС-9, АНО-9, ВСЦ-2, ВСЦ-3 та ін.). Продуктивність зварювання зверху вниз вища порівняно із зварюванням знизу вгору. Вертикальні шви зручно зварювати електродом із випірним покриттям на зварюваній кромці.

Горизонтальні шви (на вертикальній площині) зварювати складніше вертикальних (рис. 7.17). На верхньому листі можливі підрізи. Тому зварювання ведуть короткою дугою і електродом діаметром до 4–5 мм. Силу зварювального струму зменшують на 10–15% порівняно з нижнім положенням. Щоб запобігти скадуванню рідкого металу скіс кромки виконують на одному верхньому листі (рис. 7.17 а) під кутом $50 \pm 5^\circ$. Дуга при цьому збуджується на нижній горизонтальній кромці (положення 1), а потім переноситься

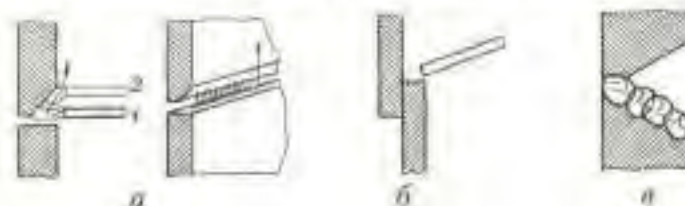


Рис. 7.17. Зварювання горизонтальних швів:

а — стикове з'єднання із скосом однієї кромки; 1 і 2 — послідовність руху електродів; б — з'єднання аналогічне; в — стикове з'єднання із скосом двох кромки; 1–4 — порядок накладання швів

на похилій скіс (положення 2), підіймаючи досередину краєво металу. Електродом виконують спіральні коливальні рухи. Горизонтальні шви вилася зварювати легше стикових тому, що кромка нижнього листа сприяє утриманню розплавленого металу від скапування вниз (рис. 7.17 б). Коли зварюють горизонтальні шви з двома скосами кромки (рис. 7.17 в), установлюють такий порядок накладання швів, при якому в процесі проварювання верхньої кромки вдається уникнути стельового положення кратера з розплавленим металом. При зварюванні горизонтальних швів високу якість забезпечують електроди з целлолозним покриттям (виконують ушнранням покриття в кромки металу).

Стельові шви зварювати найскладніше. Їх виконують зварники найвищої кваліфікації. Складність зварювання полягає в тому, що краєлі металу намагаються скапувати вниз та утруднюється перенесення краєлі із електродного металу у зварну ванну. Складностей можна уникнути, зменшуючи силу зварювального струму на 15–20% порівняно з шкжнім положенням, використовуючи електроди діаметром до 4 мм. При цьому зменшиться об'єм зварної ванни. Основною умовою одержання якісного шва є підтримання дуже короткої дуги шляхом періодичних замикань електрода з металом ванни. Кут нахилу електрода до основного металу становить 70–80° (рис. 7.18). У момент короткого замикання краєлі металу під впливом сили поверхневого натягу витягується у зварну ванну, а коли електрод віддаляється, дуга гасне і метал шва кристалізується. Одпочасно виконують поперечні коливальні рухи. Метал шва товщиною понад 8 мм зварюють багатопрхідними швами. При цьому верхній валик виконують електродом діаметром 3 мм, а шступні — діаметром не більше 4 мм. Для зварювання стельових швів використовують електроди з аншранням у покриття.

При виконанні стельових швів за допомогою покритих електродів виділяється газ, які підіймаються вверх і можуть залишитися у шві. Тому електроди перед зварюванням необхідно добре просушати.

Понижені режими й незручність зварювання швів у різних просторових положеннях зменшують продуктивність зварювання. Тому, по можливості, виробі розгановують так, щоб зварювання проходила в нижньому положенні.

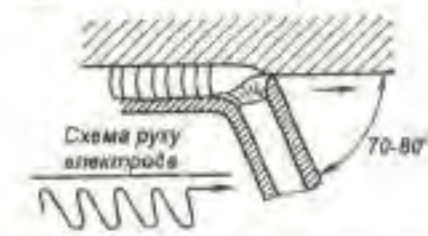


Рис. 7.18. Зварювання стельових швів

Зварні шви відповідно до ГОСТу 11969-79 за положенням у просторі мають такі умовні позначення: П — поже; П — стельове; Л — «у товнці»; В — вертикальне; Г — горизонтальне; Пв — напіввертикальне; Пг — напівгоризонтальне; Пп — напівстельове.

Згідно з кваліфікаційною системою Міжнародного інституту зварювання, прийняті такі умовні позначення швів у різних просторових положеннях:

- РА — зварювання швів у нижньому положенні
- РГ — вертикальне зверху вниз
- РВ — вертикальне знизу вверх
- РС — горизонтальне
- РЕ — стельове
- РД — напівстельове
- РВ — напівгоризонтальне
- Л-Л045 — напіввертикальне зверху вниз
- П-П045 — напіввертикальне знизу вверх

Контрольні запитання та завдання

1. Чому нижні шви найзручніші для зварювання?
2. Назвіть кут нахилу електрода при зварюванні поже швів.
3. У чому трудність зварювання вертикальних швів?
4. Які способи зварювання вертикальних швів?
5. Який спосіб використовують при малій товщині металу при зварюванні вертикальних швів?
6. Як особливість зварювання вертикальних швів знизу вверх?
7. Що роблять для запобігання скапуванню металу при зварюванні горизонтальних швів?
8. Який кут нахилу електрода при стельовому зварюванні?
9. Як заходи проти скапування металу при стельовому зварюванні?
10. Який кут нахилу електрода при вертикальному зварюванні зверху вниз?
11. Як умовні позначення швів у різних просторових положеннях?

Розділ 8

ДЕФОРМАЦІЯ ТА НАПРУГИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

8.1. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ НАПРУГ І ДЕФОРМАЦІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Однією із властивостей металів є здатність змінювати розміри при змінах температур. При нагріванні метали значно розширюються. Величина розширення залежить від температури нагрівання і коефіцієнта лінійного розширення металу.

Поряд з деформаціями і напруженнями, що виникають у деталях під впливом прикладених навантажень, у них можуть бути й власні напруження та деформації, що існують навіть при відсутності зовнішніх сил.

Залежно від причин, які викликають власні напруження, розрізняють:

- теплові напруження (викликані нерівномірним розподілом температури при зварюванні);

- структурні напруження (виникають внаслідок структурних перетворень при нагріванні вище критичних температур);

Залежно від тривалості існування власні напруження й деформації бувають:

- тимчасові (існують у конструкції в певний момент часу і зникають після охолодження виробу);

- залишкові (залишаються у конструкції після зникнення причин, які їх викликали)

Залежно від розмірів ділянки розрізняють три види напружень:

1. Напруження першого виду, які діють у крупних об'ємах виробу;

2. Напруження другого виду, які існують у межах зерен металу;

3. Напруження третього виду, які існують у межах кристалічної решітки металу.

За напрямком дії розрізняють такі напруження та деформації:

- подовжні (вдоль осі шва);

- поперечні (перпендикулярно осі шва);

За видом напруженого стану зварювання напруження бувають:

- лінійні (діють тільки по одній осі в одному напрямку);

- площинні (діють у двох напрямках);

- об'ємні (діють у трьох напрямках).

Напруження бувають розтягуючі й стискаючі. Власні шаровані напруження в свою чергу можуть бути розтягуючі та залишкові. Роль

твірні напруження виникають при зварюванні виробів, які знаходяться в жорстко закріпленому стані. Залишкові напруження виникають у виробі завдяки місцевим пластичним деформаціям і залишаються після зварювання.

Деформації, які змінюють розміри всього виробу, називають загальними, а які відносяться до його окремих елементів — місцевими.

Деформації можуть бути пружними й пластичними. Якщо зварювальний виріб після процесу зварювання відновлює початкові розміри й форму, то виникає пружна деформація, а якщо не відновлює, то проявляється пластична деформація.

У процесі виготовлення у зварних конструкціях виникають напруження й деформації. Якщо напруження перевищують границю текучості металу, то виникає пластична деформація. Це призводить до зміни розмірів, форма та короблення виробу. Якщо напруження перевищують границю міцності, то виникають тріщини.

Причини виникнення напружень і деформацій:

- нерівномірне нагрівання металу. При наявності жорстких зв'язків між шарованими і холодними частинами металу утворюються стискаючі й розтягуючі напруження;

- ливарна усадка розплавленого металу — це зменшення об'єму металу при його охолодженні. В результаті жорсткого зв'язку з основою металом виникають внутрішні напруження в зварному з'єднанні. Вони бувають подовжні й поперечні;

- структурні перетворення в металі виникають при зварюванні легированих і високоуглецевих сталей. При охолодженні змінюються розміри та взаємне рихтання зерен, що супроводжується зміною об'єму металу і викликає внутрішні напруження.

Для зменшення внутрішніх напружень застосовують:

- попередній та супровідний підігрів — для сталей, схильних до гартування й утворення тріщин. Підігрівання зменшує пластичні деформації, залишкові напруження та сприятливо впливає на структуру металу шва й близької зони;

- проковування швів — виконують по гарячому або по холодному металу. При цьому проходить розтискання металу в різні сторони, що знижує розтягуючі напруження. Шви на металі, схильному до гартування, не проковують;

- зворотноступінчастий порядок накладання швів (див. рис. 7.14 в) забезпечує більш рівномірне нагрівання металу, при цьому величина деформації зменшується;

- урівноваження деформацій — черговість накладання швів вибирають так, щоб кожен наступний викликаний деформацію, зворотну до деформації, одержаної після попереднього шва (рис. 8.1 і 8.2).

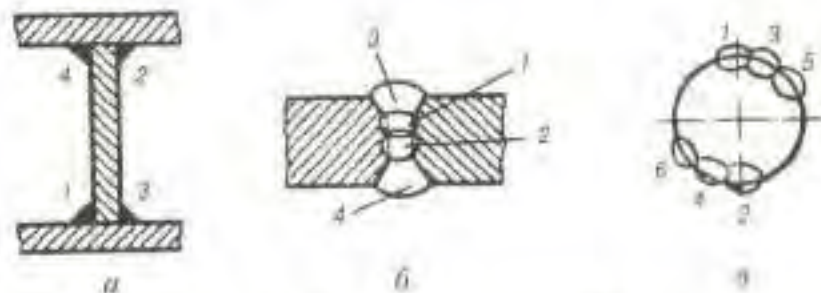


Рис. 8.1. Урівноваження деформацій.

а — при зварюванні двохшарових балок; б — при зварюванні однієї багатошарової шва; в — при наплавці вала поддошкі швами. 1–6 — послідовність накладання шва

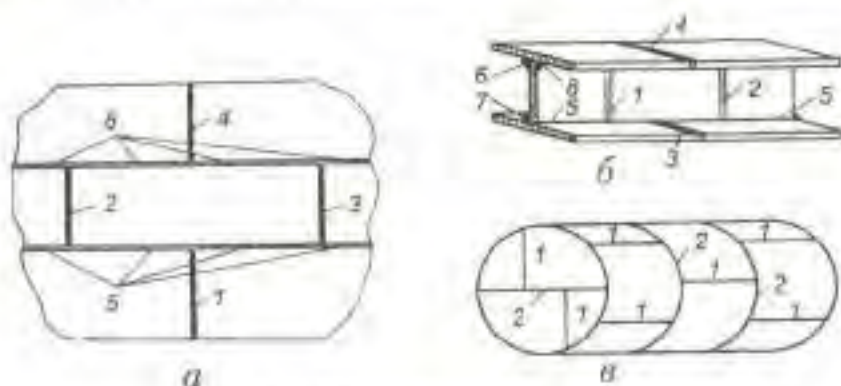


Рис. 8.2. Послідовність накладання швів:

а — при зварюванні листового матеріалу; б — при зварюванні двохшарової балки; в — при зварюванні циліндричної посудини; 1–6 — порядок накладання шва

— зворотні деформації — деталі розташовують під деяким кутом одну до одної. У процесі зварювання кромки наближаються, а деформації зменшуються (рис. 8.3).

— жорстке кріплення деталей — використовують спеціальні пристосування (кондуктори), в яких зварюють деталі, а виїмають їх тільки після охолодження. При цьому можливе виникнення внутрішніх напружень.

— термічна обробка — відпал, нормалізація й відпуск — знімають внутрішні напруження, вирівнюють структуру шва та більшої зони.

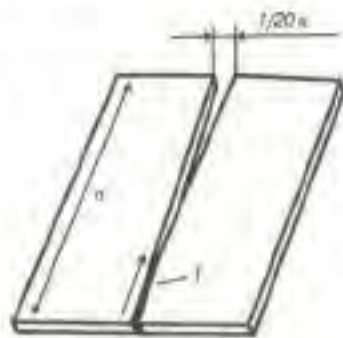


Рис. 8.3. Зворотні деформації.

а — дві частини деталі; 1 — зварний шов

8.2. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Термічна обробка — це процес нагрівання металів і сплавів до критичної температури, при якій проходить зміна будови металу, витримування при цій температурі та охолодження.

Термічна обробка виконується до, під час і після зварювання. Для кожної марки металу є свої режими нагрівання та охолодження.

Застосовують такі види термообробки:

відпал — для зняття внутрішніх напружень, підвищення пластичності, дрібнозернистої структури. Метал нагрівають до 600–680°C, витримують у печі 2,5 хв на 1 мм товщини і охолоджують разом з печю. Для повного відпалу метал нагрівають до 820–930°C, витримують і повільно охолоджують разом з печю.

нормалізація — для підвищення міцності, твердості та одержання дрібнозернистої структури. Деталі нагрівають до температури 850–900°C, витримують і охолоджують на повітрі.

відпуск — використовують для сталей, схильних до гартування, з метою зменшення внутрішніх напружень і крихкості. Верів нагрівають до 400–700°C, витримують зі розрахунку 2,5 хв на 1 мм товщини металу і повільно охолоджують. При нагріванні вище критичної температури (723°C), структури перетворення у шні не відбуваються.

При термообробці деталі нагрівають у печах, вмих, пальниками та ін.

8.3. ВІБРАЦІЙНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Зварні конструкції, виготовлені з низьковуглецевих сталей, після подальшої механічної обробки й тривалого зберігання можуть змінювати межі допусків і потребують додаткової обробки. Причиною таких змін є наявність залишкових напружень, які супроводжують процес зварювання. Геометричні розміри можуть змінюватися під впливом монтажних, експлуатаційних і транспортних навантажень, а також із підвищенням температури. Зварні конструкції для підвищення стабільності їх розмірів піддають термічній обробці (відпуску), що потребує великих енергетичних витрат. Упродовж останніх років широко впроваджують низькоенергетичний спосіб стабілізації геометричних розмірів металоконструкцій — вібраційну обробку. Суть цього методу полягає у створенні в металоконструкції змінних напружень певної величини за допомогою спеціальних вібробудувачів (вібраторів). До змінних напружень додаються зварювальні, й при досягненні границі текучості проходять пластична деформація.

Остання спрямає зниження та перерозподіл напруг і підвищує стійкість матеріалів проти самовільного деформування.

Для віброобробки зварну конструкцію встановлюють на віброізольованих опорах, приєднують струбицями або болтами вібробудувач і датчик для реєстрації частоти та амплітуди коливань. Плавлю змінюють частоту коливань від мінімальної до максимальної встановлюють резонансні частоти, на яких і проводять віброобробку металоконструкції.

Основними параметрами вібраційної обробки є амплітуда і тривалість вібровантажування. При правильній вибраній режимі зниження залишкових напруг становить 40-60%. Використання вібраційної обробки в десятки разів скорочує час стабілізуючої обробки зварних конструкцій, зменшує споживання електроенергії, знижує витрати на очищення металоконструкцій та підготовку до з'ясування і транспортування.

Широко використовуються механічні інерційні дебалансні вібробудувачі, які входять до складу установок У912, 489ПМ, ВКСР-200, Альфа-3, ВК-90 та інші. Дебалансні вібробудувачі розвивають зусилля до $7 \cdot 10^4$ Н у частотному діапазоні до 200 Гц.

Мала енергоємність віброобробки, низька вартість обладнання і простота обслуговування дозволяють ефективно використовувати вібростабілізацію на підприємствах одиначного, серійного та масового виробництва.

8.4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Деформації, викликані зварюванням, є однією із головних причин, які призводять до відхилення дійсних розмірів металевих конструкцій від проектних. Для зменшення деформацій застосовують різні методи регулювання теплового стану металу зварного з'єднання, активне навантаження деталей при зварюванні й компенсацію деформацій. Тепловий стан металу зварного з'єднання регулюють такими способами:

- використовують зварювання таких видів, які потребують менше тепловкладення (механізоване дугове зварювання замість ручного дугового, зварювання тертям замість дугового тощо);
- зменшують об'єм наплавленого металу і переріз зварних швів;
- використовують попередній та супровідний підігрів для зменшення різниці температур між окремими частинами зварюваного виробу;
- регулюють теплові процеси за рахунок охолодження зони зварювання водою, повітрям, теплоізоляційними підкладками й пастами.

Способами активного навантаження зварюваних елементів є розтяг деталей в процесі зварювання, вібраційна обробка під час зварювання та проковування швів. Найефективнішим способом попередження деформацій є їх компенсація. Для цього використовують такі заходи:

- довгі шви механізованим способом зварюють «на прохід», а ручним дуговим зварюванням – зворотноступінчастим способом;
- при зварюванні багатопрохідних швів кожний наступний шар виконують у протилежному напрямку;
- при зварюванні листових конструкцій в першу чергу зварюють поперечні шви, які з'єднують листи в довгі смуги, а потім їх зварюють між собою;
- при зварюванні двотаврових балок спочатку виконують стикові з'єднання стінок і тільки після цього зварюють поєдні шви;
- при зварюванні виробів із симетричним розташуванням багатопрохідних швів, зварюють за методом урівноваження деформацій;
- деформації повинні бути рівні за величиною та зворотні за зварювальним напрямком;
- необхідно передбачити раціональну послідовність виконання складально-зварювальних операцій.

Якщо при зварюванні не вдається уникнути виникнення деформацій, то виріб випрямляють холодним (механічним впливом), тепловим безударним і комбінованим способами (нагрівання з механічною дією). Холодне випрямлення виконують під пресою або вантажем, прокатуванням роликми, у вальцях тощо. Цей спосіб використовують для видовження волокон зони зварних з'єднань. Теплове безударне випрямлення виконують нагріванням смуг, плям і трикутників без розплавлення поверхні (газовими пальниками, струмами високої частоти, електричною дугою). Тепловий спосіб використовують для скорочення волокон основного металу з метою компенсації скорочення зварних з'єднань. Сумарна величина залишкових пластичних деформацій при вирівнюванні залежить від температури нагрівання, потужності джерела нагрівання, розташування місця нагрівання, залишкових напруг, жорсткості конструкції, кріплення виробу та ін.

Оптимальну температуру при випрямленні визначають за умови одержання максимальних залишкових деформацій скорочення при мінімальних зворотних пластичних деформаціях видовження. Приклади деформованих елементів, зварних вузлів і режими їх випрямлення місцевим нагріванням наведені в табл. 8.1.

Комбінований спосіб передбачає нагрівання виробу з використанням механічного впливу із застосуванням скоб, прихватів, стижок, домкратів або ударів кувалди (молота). Цей спосіб використовують для скорочення волокон основного металу, щоб компенсувати скорочення зварних з'єднань.

Приклади деформованих елементів і зварних вузлів;
режими їх теплового виправлення

Елементи й частини конструкцій	Розмір елементів конструкцій, мм	Характер нагрівання	Температура нагрівання, °С	Номер концентрічного пальника
	L до 12; h до 0,5; a до 12	Нагрівання кромки і ділянок $a = (0,6+0,8)h$	650–700	5–6
	Шахтер до №20, лист товщиною до 8 мм	Смуга зверху, позначки	700	5–6
	L до 12; h до 0,5; площа перерізу до 200 см ²	Трикутні ділянки на ступні й позначки	700	6–7
	a до 30; b до 16; $a_1 = 30-50$; $b_1 = 16-30$	Одна смуга $d = 20-30$ мм; дві смуги $d_1 = 30-40$ мм	700–800	6–7
	$b = d - 8$; f до 6	Смуга нагрівання $d_1 = 20-30$ мм за контуром випуклості. Паяки нагрівом $d_2 = 50-70$ мм у шаховому порядку	700–800	6–7

Контрольні запитання та завдання

1. Що виникає, коли напрути перевищують границю текучості металу?
2. Що виникає, коли напрути перевищують границю міцності металу?
3. Що утворюється при наявності жорстких зв'язків між нагрітими й холодними частинами металу?
4. Що таке ліварна усадка розплавленого металу?
5. Що таке структурні перетворення в металі?
6. Що забезпечує попередній і супровідний підігрів?
7. Що відбувається при проковуванні швів?
8. Що забезпечує зворотностійчастий порядок закладання швів?
9. Що таке рівноваження деформацій?
10. Як зменшують деформації за допомогою зворотних деформацій?
11. Для чого використовують термічну обробку зварних виробів?

ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ

9.1. КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ

Дугове зварювання в захисних газах – це зварювання, при якому дуга й розплавлені метал знаходяться в захисному газі, який подається в зону зварювання за допомогою спеціальних пристроїв. Цей вид зварювання широко застосовують при виготовленні машинобудівельних і будівельних конструкцій.

Основні переваги зварювання в захисних газах:

- висока продуктивність (у 2,5 рази вища порівняно з ручним дуговым зварюванням покритими електродами), низька вартість при використанні активних захисних газів;
- простота механізації та автоматизації;
- можливість зварювання в різних просторових положеннях;
- мала зона термічного впливу й відносно невеликі деформації виробу внаслідок високого ступеня концентрації дуги;
- висока якість захисту, немає потреби захищати шов при багатопаровому зварюванні;
- доступність процесу зварювання металу різної товщини (від десятків часток міліметра до десятків міліметрів), можливість спостереження за утворенням шва;
- висока якість зварних металів та їх сплавів різної товщини;
- відсутність операцій з засипання й прибирання флюсу та видалення шлаку.

Недоліки зварювання в захисних газах:

- відкрита дуга, що підвищує небезпеку ураження зору світловим випромінюванням;
- потреба захисту зони зварювання від протягу (при струмінному захисті), що утруднює зварювання в монтажних умовах на відкритому повітрі;
- втрати металу на розбрикування, шкідливість газової апаратури, в деяких випадках необхідність водного охолодження пальника.

Існує багато видів дугового зварювання в захисних газах які можна класифікувати за найсуттєвішими ознаками (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Класифікація способів дугового зварювання в середовищі захисних газів

9.2. СХЕМИ ЗВАРЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

Зварювання в захисних газах можна виконувати неплавким вольфрамовим або плавким електродом (рис. 9.2). У першому випадку зварний шов одержують за рахунок розплавлення кромки виробу, і якщо необхідно – за рахунок дроту, який подається в зону дуги.

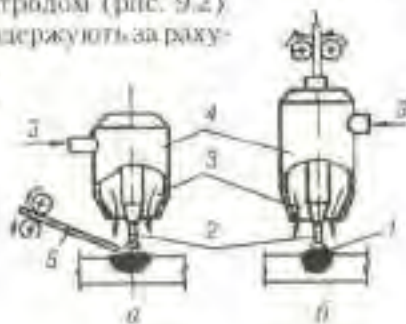


Рис. 9.2. Схеми зварювання в середовищі захисних газів

а і б – неплавким і плавким електродом; 1 – зварювальна дуга; 2 – електрод; 3 – захисний газ; 4 – газове сопло; 5 – присадкований дріт

Плавкий електрод у процесі зварювання розплавляється і формує шов. Для захисту застосовуються гази трьох груп: інертні (аргон, гелій); активні (вуглекислий газ, азот, водень та ін.); суміші інертних й активних газів. Вибір захисного газу (табл. 9.1) визначається хімічним складом зварного металу, вимогами щодо властивостей зварного з'єднання, економічністю процесу та іншими факторами. Захисний газ у зону зварювання може подаватися центрально (рис. 9.3 а), а при підвищених швидкостях зварювання – плавким електродом збоку (рис. 9.3 б). Для економії витрат дефіцитних і дорогих

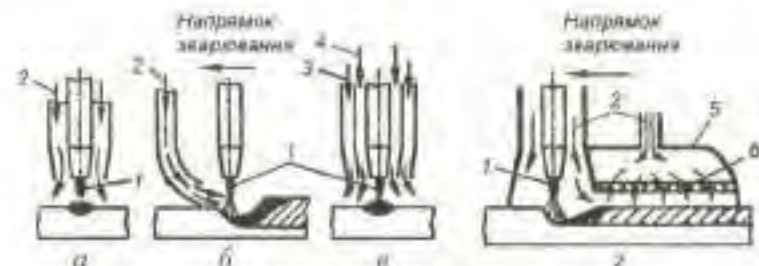


Рис. 9.3. Схеми подачі захисного газу в зону зварювання

а – центральна; б – збоку; в – лівим електродом і правим соплом; 1 – кріпому камері (маску); 2 – електрод; 3 – захисний газ; 4 – зварювальний і зварюваний метал; 5 – насадка; 6 – розподільна сітка

інертних газів використовується захист двома різдильними потоками газів (рис. 9.3 в): зовнішній потік – вуглекислий газ. При зварюванні активних матеріалів для запобігання контакту повітря не тільки з розплавленим, але й з нагрітим твердим металом, застосовують видовжені насадки на сопла (рухомі камери; рис. 9.3 в). Надійний захист досягається при рихташувальні виробу в стаціонарних камерах, заповнених захисним газом.

Основними різновидами зварювання є зварювання у вуглекислому газі та аргонодугове зварювання. Схему постів для зварювання в захисних газах наведено на рис. 9.4.

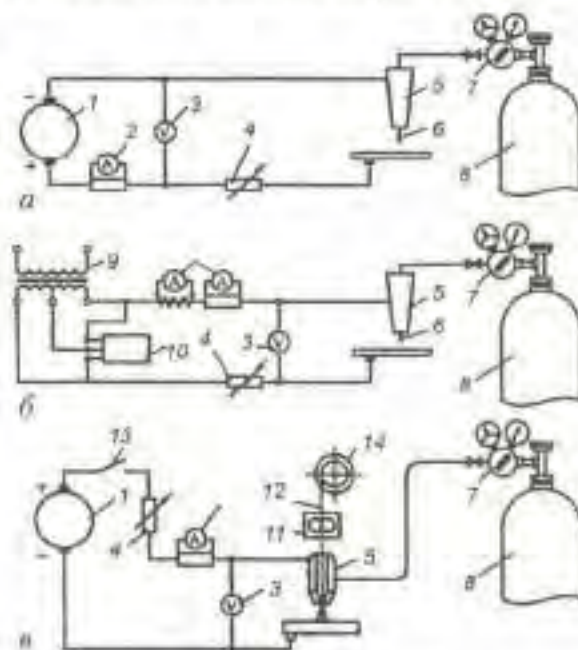


Рис. 9.4. Схеми зварювання в захисних газах:

а – неплавким електродом на постійному струмі; б – неплавким електродом на змінному струмі; в – плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності; 1 – зварювальний трансформатор; 2 – міліметр; 3 – вольтметр; 4 – баластний резистор; 5 – накопичувач палива; 6 – вольфрамовий електрод; 7 – редуктор-інтратер газу; 8 – балон з стиснутим газом; 9 – зварювальний трансформатор; 10 – осцилятор; 11 – ланка для подачі дроту; 12 – електродний плавкий дріт; 13 – контакт контакта; 14 – коушка з дротом

Залежність методу зварювання, захисного газу і роду струму від металів, які зварюються, та їх товщини

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніше застосування в будівництві й монтажі	Зварювання	Захисний газ	Струм
Вуглецеві та ніккельлегітовані сталі	Більше 1	Решітчасті й листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне, напівавтоматичне, плавким електродом	Вуглекислий газ, суміші вуглекислого газу з киснем до 30%, суміші аргону з вуглекислим газом (90+10%), аргон 2-го сорту	Постійний зворотної полярності
	0,5-3	Товстостіпові конструкції й труби	Автоматичне, напівавтоматичне й ручне, вугільним електродом	Вуглекислий газ	Постійний прямої полярності
		Листові конструкції з матеріалу товщиною до 3 мм, трубопроводи	Ручне й механізоване, не плавким електродом	Нержавкий аргон 2-го сорту, гелій, суміші аргону й гелію, Жароміцні аргон 1-го сорту, гелій	Постійний прямої полярності та змінний
Нержавіючі жароміцні сталі	1 і більше	Листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне й напівавтоматичне, плавким електродом	Нержавіючі аргон 2-го сорту, гелій, вуглекислий газ, суміші аргону й вуглекислого газу (90+10%), Жароміцні аргон 2-го сорту, гелій	Постійний зворотної полярності
Мідь і її сплави	0,5 і більше	Листові конструкції і трубопроводи	Ручне й механізоване, не плавким електродом	Аргон 2-го сорту	Постійний прямої полярності та змінний
	3 і більше		Автоматичне й напівавтоматичне, плавким електродом	Аргон 2-го сорту, гелій, азот, суміші аргону і азоту (20-30%)	Постійний зворотної полярності

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніше застосування в будівництві й монтажі	Зварювання	Захисний газ	Струм
Алюміній та його сплави	0,5 і більше	Решітчасті й листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Ручне й механізоване, не плавким електродом	Аргон 1-го сорту	Змінний
	2 і більше		Автоматичне й напівавтоматичне, не плавким електродом	Аргон 1-го і 2-го сорту, суміші аргону і гелію (35±60%)	Постійний зворотної полярності
Титан та його сплави	0,5 і більше	Листові конструкції, трубопроводи й монтажні шви негабаритної апаратури	Ручне й механізоване, не плавким електродом	Аргон високого сорту	Постійний прямої полярності
	3 і більше	Листові конструкції, монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне й напівавтоматичне, плавким електродом	Аргон високого й першого сорту	Постійний зворотної полярності

Зварювання вольфрамовим електродом на постійному струмі прямої полярності застосовують практично для всіх металів крім легкоплавких – алюмінію, магнію, берилію та їх сплавів. На прямій полярності забезпечується краща стабільність дуги, незначні витрати вольфрамового електроду та можливість зварювання на великому струмі.

При зварюванні на зворотної полярності погіршується стійкість горіння дуги, збільшуються втрати вольфраму.

Але дуга зворотної полярності має й позитивні властивості:

– добре очищає поверхню металу, який зварюється, від оксидів і забруднень;

– позитивні важкі іони аргону, що утворюються під дією електричного поля, рухаючись від електрода (+) до виробу (-), руйнують оксидну плівку і забруднення.

Це явище називається катодним розчиненням.

Зварювання на змінному струмі використовується для зварювання легкоплавких металів – алюмінію, магнію, берилію та їх сплавів. При цьому досягається видалення оксидної плівки, що активно утворюється на поверхні цих металів і має температуру плавлення значно вищу від температури плавлення металу. Явище катодного розчинення спостерігається, коли виріб стає катодом.

Через зміну полярності вольфрамовий електрод не перегрівастся, використовується струм значної величини. Тому цей метод ефективно використовується для легкоплавких металів.

Зварювання плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності використовується внаслідок високої стабільності дуги. В якості захисних газів використовуються інертні, активні або їх суміші. Гази вибираються залежно від металу, який зварюється, його товщини й вимит, як ставиться до зварного з'єднання. На стабільність горіння дуги, форму та розмір шва впливають матеріал і діаметр електрода, склад захисного газу та інші фактори.

9.3. ПІДГОТОВКА КРОМОК ТА ЇХ СКЛАДАННЯ ПІД ЗВАРЮВАННЯ. ШВИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Способи підготовки кромок під зварювання (механічні, газовим різанням тощо) такі ж, як і при інших методах зварювання.

Метал для виготовлення зварних конструкцій попередньо виправляють, розм'якшують, розрізають на окремі деталі, при потребі виконують розробку кромок відповідно до ГОСТу. Підготовка кромок під зварювання включає очищення від іржі, окислини, пилу, масла. Очищення здійснюють сталевими щітками, гарячою стружкою і дробометалічними способами, абразивними кругами, подум'ям зварювального пальника, протриванням у розчинах кислот або лугів.

Основні типи й конструктивні елементи швів зварних з'єднань із сталей, сплавів на залізничелювій і нікелевій основах, виконаних дуговим зварюванням у захисному газі, регламентовані ГОСТом 14771-76 «Дугове зварювання в захисному газі. З'єднання зварні». Цим стандартом передбачено чотири типи з'єднань: стикові при зварюванні металу товщиною від 0,5 до 120 мм; кутові при зварюванні металу товщиною від 0,5 до 100 мм; таврові при зварюванні металу товщиною від 0,5 до 60 мм. Залежно від форми підготовки кромок і товщини зварних деталей шви бувають із відбуртуванням кромок, без скосу кромок, із прямим, ломаним, ступенчастим або криволінійним скосом однієї або двох кромок з однієї або з двох сторін з'єднання. За характером виконання шва вони можуть бути одно- й двобічними. Однібічні можуть виконуватися «на ваці» та від різного роду відкладках – мідно-флюсовій, тимчасовій сталевій і талій, що залишається.

Стандартом встановлено такі позначення способів зварювання:

III – в інертних газах неплавким електродом без присаджувального металу;

IIIa – в інертних газах неплавким електродом із присаджувальним металом;

III – в інертних газах та їх сумішах із вуглекислим газом і неплавким електродом;

ВП – у вуглекислому газі та його суміші з жовтим плавким електродом.

Конструктивні елементи підготовлених кромок і виконаних швів для деяких типів з'єднань наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Конструктивні елементи підготовлених кромок і виконаних швів у середовищі захисних газів

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромок	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Товщина металу зварних деталей, мм
			підготовлені кромки зварних деталей	шви зварного з'єднання		
Стикове	Без скосу кромок, ламковий	C6			III IIIa III ВП	0,5-4,0 0,5-6,0 0,8-6,0 0,8-8,0
Стикове	З ламаним скосом однієї кромок	C14			III ВП	18-100 18-100
Стикове	Із ступінчастим скосом двох кромок	C22			IIIa III	4-20 4-20
Кутові	З двома симетричними скосами однієї кромок	K8			IIIa III ВП	10-20 10-20 6-100
Таврові	З двома симетричними скосами однієї кромок	T9			IIIa III ВП	6-20 6-80 6-80
Виступок	Без скосу кромок	H2			III IIIa III ВП	0,8-4,0 0,8-10,0 0,8-60,0 0,8-60,0

Позначення в: S, S_1 – товщина металу, мм; b – шкар, мм; c – величина пригуплення, мм; e, e_1 – ширина шва, мм; g, g_1 – висота посилення шва, мм; K – катет шва, мм; R – радіус заокруглення, мм; α – кут скосу, град.; B – величина напуску, мм; δ – товщина торця кромок, що залишилася, мм.

Вид розробки кромки та інші геометричні розміри повинні відповідати ГОСТу 14771-69 або технічним умовам щодо виготовлення виробу. При напівавтоматичному зварюванні плавким електродом можна отримати повний провар без розробки кромки і без зазору між ними при товщині металу до 8 мм. При зазорі або розробці кромки повний провар досягається при товщині металу до 11 мм при зварюванні у вуглекислому газі багатопарових швів. Перед накладанням наступного шару поверхню попереднього шару необхідно зачищати від бризок і шлаку. Для зменшення забризкування поверхні деталі покривають спеціальними препаратами: UFO-1 спрей, «Защит-1». Деталі складають за допомогою струбики, клинів, скоб або прихваток.

9.4. СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ

Для стійкого горіння зварювальної електричної дуги необхідно забезпечити рівність швидкостей плавлення електроду U_e і подачі його в зону дуги U_n , що досягається по одному з трьох варіантів:

- саморегулювання дуги. обов'язковою умовою цього варіанту регулювання є постійність швидкості подачі електроду (U_n). Зміна швидкості подачі можлива при налагоджуванні апарата перед роботою шляхом зміни шестерень приводу механізму подачі або за допомогою механічного варіанту в процесі роботи;

- регулювання напруги дуги або зварювального струму, а відповідно й швидкості плавлення електрода, зміною швидкості його подачі або зміною електричних параметрів зварювальної мережі – напруга (ЕРС) джерела живлення дуги, або опору мережі;

- регулювання відразу двох електричних параметрів – напруги дуги та зварювального струму при одночасній дії на них.

Два останні варіанти передбачають в обов'язковому порядку зміну швидкість подачі електроду U_n і використовують властивості статичних характеристик джерел живлення зварної мережі та характеристики електричної дуги.

9.5. КЛАСИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для механізованого зварювання використовується обладнання, яке можна класифікувати за такими ознаками:

- вид зварювання (дугове, газове, електрошлакове, контактне, ультразвукове, холодні токи);

- метод зварювання (електродугове під флюсом, електродугове в активних та інертних газах, електрошлакове пластинчастим електродом тощо);

- ступені механізації зварювального процесу (автоматичний або напівавтоматичний);

- можливості переміщення апарата (самохідні або стаціонарні). Самохідні поділяють на такі, що переміщуються по спеціальних направляючих (самохідні голонки), або безпосередньо по виробу, що зварюється (зварювальні триєтери);

- виду зварювального електроду (плавкий і неплавкий);

- способу регулювання електричної дуги;

- кількості і виду електродів (дротиний, стрічковий, з планом мундштуком, плавкий або неплавкий);

- способу формування металу шва (вільне, примусове).

В одному зварювальному апараті можливі поєднання різних класифікаційних ознак однієї й тієї ж групи. Наприклад, напівавтомат для зварювання під флюсом може використовуватися й при зварюванні в інертних газах; одноелектродний апарат без суттєвої зміни трансформується в двоелектродний і т. д.

Апарати з постійною швидкістю подачі електроду відрізняються простотою конструкції та надійні в експлуатації, що надає їм значних переваг. До їх недоліків відносяться нестабільність роботи при значних коливаннях напруги в мережі живлення зварювального кола.

Як правило, всі зварювальні напівавтомати оснащені механізмами з постійною швидкістю подачі електроду. На ВАТ «Завод Електрик» освоєно виробництво компактних і мобільних напівавтоматів ПДГ-165-1, ПДГ-2010 і ПДГ-2510 для зварювання в CO_2 і сумішах інертних газів $Ar+CO_2$. Напівавтомати оснащені подаючим пристроєм із двома роликми.

Напівавтомат ПДГ-2510 укомплектований подаючим пристроєм, який має чотири роликки, що забезпечує безперервну подачу як суцільного так і порожкового дроту. Всі напівавтомати мають плавне регулювання і стабілізацію подачі дроту, надійні в роботі, прості в обслуговуванні, забезпечують легке запалювання дуги (табл. 9.3).

Таблиця 9.3

Технічні характеристики напівавтоматів

Технічні характеристики напівавтомата	ПДГ-165-1	ПДГ-2010	ПДГ-2510
Напруга живлення (50Гц), В	220	380	3x380
Потужність, яка споживається, КВА, не більше	7	9,7	18
Зварювальний струм (ПВ), А	160 (60%) 125 (100%)	200 (60%) 155 (100%)	315 (32%) 250 60% 190 (100%)
Діапазон регулювання зварювального струму, А	40–160	30–200	35–315

Закінчення таблиці 9.3

Технічні характеристики напівавтомата	ПДГ-165-1	ПДГ-2010	ПДГ-2510
Діапазон регулювання швидкості на дузі, В	14-24	14-28	15-30
Кількість позначених розрядів, шт	2	2	4
Діаметр електродного дроту, мм суцільного аерозахвату	0,8-1,2	0,8-1,2	0,8-1,4 1,2-1,4
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	2-9,5	1,2-16	1,2-16
Підключення патяниці	Європі/ЄМ	Європі/ЄМ	Європі/ЄМ
Діаметр корпусу, мм	200	200; 300	200; 300
Витрати захисного газу, л/год	550	550	840
Ступінь захвату	IP21	IP21	IP21
Габаритні розміри, мм	545×285×545	720×285×790	478×910×940
Маса, кг	60	90	168

9.6. ГАЗОВА АПАРАТУРА Й ПРИЛАДИ

Пост для зварювання в захисних газах складається із балона з газом, підігрівача та осушувача, що застосовуються тільки при використанні вуглекислого газу, а також редуктора, витратоміра, газоелектричного клапана і шланга, який з'єднує ці елементи із зварювальним щільником.

Балон — стальна ємність, призначена для зберігання й транспортування стиснутих, зріджених і розчинених газів під тиском. Виготовляють із суцільнолягнутах труб. Коли з балона випускають рідину вуглекислоту, то вона випаровується, а температура газу різко зменшується. Для попередження замерзання вологи в каналах редуктора і заповнення їх льодом, між вентилям балона і редуктором встановлюють електричний підігрівач.

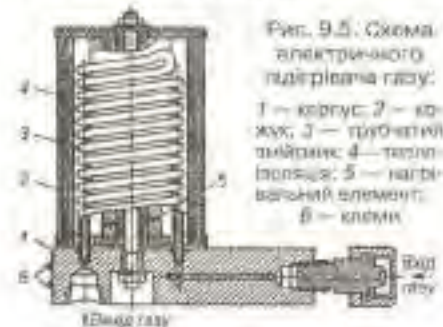


Рис. 9.5. Схема електричного підігрівача газу:
1 — корпус; 2 — кожух; 3 — трубчатий змієвик; 4 — теплоізоляція; 5 — нагрівальний елемент; 6 — клапан

Електричний підігрівач (рис. 9.5) складається з корпусу 1, кожуха 2, трубчатого змієвика 3, теплоізоляції 4 і нагрівального елемента 5. На клапан 6 подають постійну (20 В) або змінну (36 В) напругу. Газ проходить через трубчатий змієвик 3 і нагрівається до температури 10–15°C.

Наявність навіть невеликої кількості вологи в балоні призводить до різкого збільшення вологості вуглекислого газу при зменшенні його тиску. При цьому в металі шва утворюються пори.

Для зменшення вологості вуглекислого газу балон після вживання необхідно прокушати (продувати гарячим повітрям). Для зменшення потрапляння вологи в зону зварювання, вуглекислий газ пропускають через осушувач. Використовуються осушувачі двох видів — високого і низького тиску (рис. 9.6).

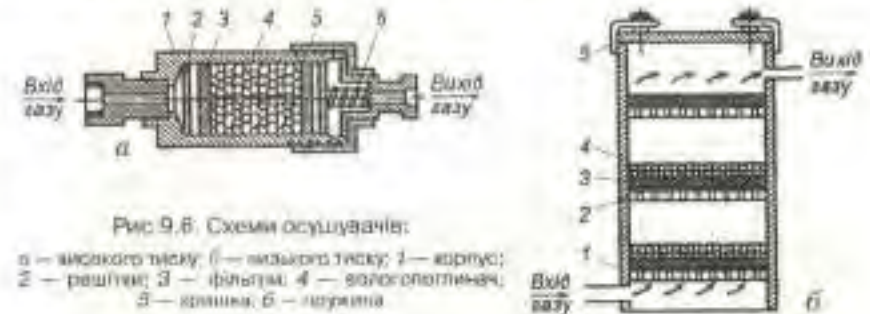


Рис. 9.6. Схеми осушувачів:

а — високого тиску; б — низького тиску; 1 — корпус; 2 — решітка; 3 — фільтр; 4 — вологопоглинач; 5 — кришка; 6 — пружина

Осушувач високого тиску має пружину 6, призначену для ущільнення вологопоглинача. Фільтри 3 призначені для відокремлення від газу твердих частинок. У якості вбирача вологи використовують силікогель, або алюмогліколь, інколи мідний сульфат і хлористий кальцій. Вбирач вологи пропарюється при температурі 200–250°C протягом 1–2 год. Осушувач розрахований на осушування 30–35 м³ вуглекислого газу при одній зарядці. Порошок після використання замінюють або прожарюють один раз у 10–15 днів залежно від інтенсивності завантаження зварювального апарата чи напівавтомата.

Осушувач низького тиску, який має значні розміри, встановлюють після понижуючого редуктора. Він не потребує часті заміни вбирача вологи, тож його раціонально застосовувати при централізованому газопостачанні.

Осушувач високого тиску встановлюється до понижуючого редуктора, має малі розміри і вимагає часті заміни вологопоглинача. Це створює певні незручності при роботі.

Редуктор призначений для зменшення тиску газу, який відбирають із балона і підтримання цього тиску сталим, незалежно від збільшення тиску газу в балоні.

Редуктори-витратоміри серій АР, А, Г, В використовують для фіксації тиску в балоні, тиску після першого ступеня та робочого тиску (за манометром-витратоміром, який виміряє витрати газу у літрах за хвилину).

Залежність витрат газу від показів шкали манометра низького тиску редуктора ДКП-1-65 наведені нижче:

Покази шкали, МПа	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25
Витрати CO ₂ , л/хв	3	4	5	6	7	8	9	10

Витрати захисного газу фіксуються показами манометра низького тиску газового редуктора. Схема газового редуктора, який використовується при зварюванні у вуглекислому газі зображено на рис. 9.7.

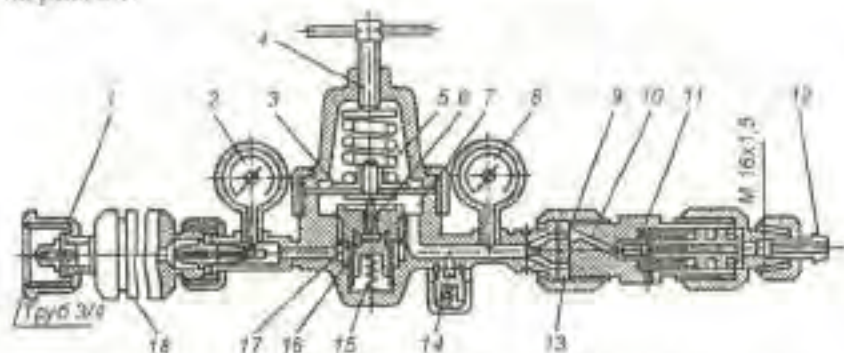


Рис. 9.7. Схема газового редуктора У-30 для вуглекислого газу.

1 — напіднята гайка; 2, 8 — манометри; 3 — мембрана; 4 — регулювальний гвинт; 5, 15 — пружини; 6 — голка; 7 — замір низького тиску; 9, 13 — калібровані отвори; 10 — канал; 11, 16 — запірні клапани; 12 — ізоляція; 17 — піддон; 18 — підігрівач газу.

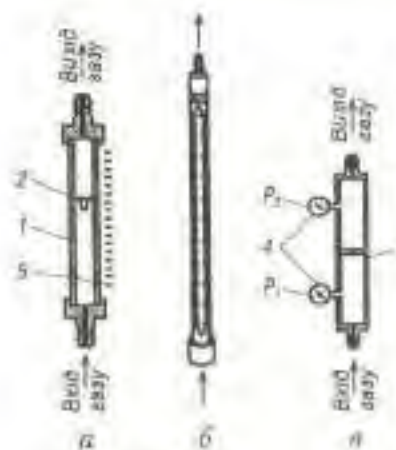


Рис. 9.8. Витратоміри газу:

а — поплавкового типу (ротаметр); б — ротаметр РМ-3; в — дросельного типу. 1 — скляна трубка; 2 — поплавок; 3 — діафрагма; 4 — манометр; 5 — шкала.

Витратоміри, або ротаметри призначені для вимірювання й точного контролю витрат газів. Застосовують витратоміри різних типів, найпоширеніші поплавкового й дросельного типу.

Витратомір поплавкового типу (рис. 9.8 а, б) складається із скляної трубки 1, нанесеної шкали 5 і кінцевого отвору. Ротаметр розташовується строго вертикально широким кінцем отвору дотри. В середині трубки розташовується поплавок 2, що вільно в ній переміщується. Газ, який проходить знизу дотри через трубку, підіймає поплавок доти, поки кільцевий зазор між ним і стінкою трубки не досягне величини, при

якій тиск струменя газу врівноважує масу поплавка. Чим більші витрати газу та його шільність, тим вище підіймається поплавок.

Поплавки ротаметрів виготовляють із різних матеріалів.

Витратомір дросельного типу (рис. 9.8 в) сконструйованою на принципі вимірювання перепаду тиску на ділянках до і після дросельної діафрагми 3 (P_1 і P_2), який залежить від витрат газу і вимірюється манометром 4.

9.7. НАПІВАВТОМАТИ ТА АВТОМАТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ

До основних вузлів напівавтоматів відносяться: механізм подачі зварювального дроту, шафа керування з електронімірювальною й пускорегулювальною апаратурою, пальник з шлангом для подачі електродного дроту, а також пристрій для захвату зони дуги.

Зварювальні напівавтомати можна класифікувати не тільки за принципом дії механізму подачі дроту, але й за призначенням — спеціальні або загального призначення, за діаметром дроту — малого (0,5–1,4 мм) і великого (понад 1,6 мм), за характером переміщення в процесі зварювання — стаціонарні, переносні, пересувні.

Стаціонарні напівавтомати мають різні механізми подачі дроту і пульта керування. Маса дроту і механізму подачі може досягти 100 кг. Стаціонарні напівавтомати призначені для зварювання дрібногабаритних деталей.

У переносних напівавтоматах легкі механізми подачі дроту; маса зварювального дроту, намотаного на касету, невелика. Механізм подачі дроту і касета розміщуються в портативному шлангу. Напівавтомати цієї групи достатньо транспортабельні й маневрені. Більшість напівавтоматів типу А-547А, А-537, ПДПТ-500, А-1114М, А-1230М мають переносні механізми подачі, які успішно використовуються в стаціонарних і пересувних напівавтоматах.

Пересувні напівавтомати бувають з легким механізмом подачі, що вільно відділяється від інших вузлів (А-765) або встановлені на візках (А-1035, А-1197) і змонтовані разом із джерелом живлення та балоном із вуглекислим газом на платформі з колесами.

Легкі пересувні напівавтомати розраховані на переміщення їх з одного місця на інше. Пульт керування цих напівавтоматів установлюється стаціонарно на робочому місці на деякій відстані від механізму подачі дроту поряд з джерелом живлення або монтується на шлангу. Таке розміщення пульта напівавтоматів затруднює регулювання або контроль режиму зварювання.

Більшість зварювальних напівавтоматів мають швидкість подачі дроту від 60 до 900 м/год і розраховані на зварювання струмами силою до 500 А.

Напівавтомати для зварювання і наплавлення виготовляються згідно з ГОСТ ом 18130-79Е (табл. 9.4.)

Таблиця 9.4

Загальні характеристики напівавтоматів для дугового зварювання плавким електродом

Електродний дріт	Діаметр електродного дроту, мм	Швидкість подачі електродного дроту, м/год	Номинальний зварювальний струм, А	Умови зварювання
Суцільний: алюмінієвий	1,2-2,0	80-230	200	У газовому середовищі інертних, активних газів
сталевий	0,8-1,2	120-720	200	
Суцільний: алюмінієвий	1,6-2,0	80-440	315	Те ж.
сталевий	1,0-1,4	120-960	315	
Порошковий сталевий	1,2-1,6	120-960	400	В активних газах без захисту
	1,0-3,0	100-600	400	
Суцільний сталевий	1,6-2,0	120-720	500	Під флюсом в активних газах
	1,2-2,0	120-720	500	
Порошковий сталевий	1,6-2,0	120-720	630	Те саме в активних газах без захисту
	1,2-2,0	120-720	630	
	2,0-3,0	100-600	630	

9.7.1. Характеристики зварювальних напівавтоматів

У напівавтоматах використовується зварювальний дріт невеликого діаметра. Зварювання ведеться при великій щільності струму, що забезпечує легкість саморегулювання зварювальної дуги і відповідно вимагає постійної швидкості подачі.

Подача електрода (дроту) в зону зварювання. Основу механізму подачі становлять привід і система подаючих роликів. Різні поєднання роликів (принципова схема) в сучасних механізмах і їх робоча поверхня показані на рис. 9.9.

У механізмах подачі порошкових дротів рекомендується застосовувати варіанти компоновки з двома парами роликів або з більшим кутом обхвату (рис. 9.9) для роликів *КШ*; роликів *КН* і *КШ* використовуються при необхідності створення шпильки подачі, але наявність насічки призводить до появи задирок на дроті, а це в свою чергу — до швидкого спрацювання мундштука.

За принципом дії подавальний механізм поділяється на три типи: прошивальний, притягувальний і комбінований (прошивально-протягувальний).

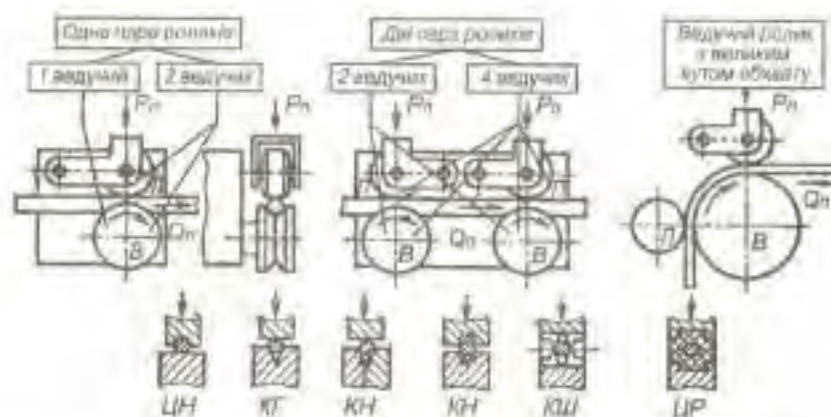


Рис. 9.9. Рольові пристрої подачі дроту.

R_n — зусилля притягу, B — радіус кривизни та притягуючий; D_n — зусилля підняти металевий; *КН* — ролик циліндричний з насічкою; *КТ* — ролик з плоскою канавкою; *КШ* — ролик з великим кутом обхвату (шестеренчастий); *КР* — ролик циліндричний (похилити зліва)

У першому варіанті роликів прошивають зварювальний електрод у зону дузи, розташовуючись на значній відстані від струмопідводу. В другому варіанті роликів тягнуть електрод і знаходяться в безпосередній близькості до струмопідводу; в деяких випадках (для ряду моделей напівавтоматів) доцільно використовувати комбінацію двох варіантів. При цьому деяка кількість роликів розташована біля бухти з дротом і прошиває дріт, а інші роликів знаходяться в районі струмопідводу і тягнуть електрод.

У зону зварювання електрод подається через мундштук. У сучасних апаратах застосовуються мундштуки роликів, колодок, шпильки й трубчаті (рис. 9.10).

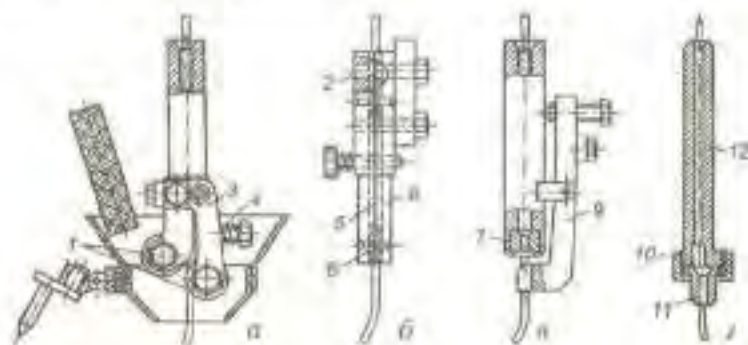


Рис. 9.10. Струмолінійні мундштуки:

а — роликів; *б* — колодочок; *в* — шпильки; *г* — трубчатий; *1* — контакт роликів; *2* — штир; *3* — корпус; *4* — пружина; *5, 6* — контакти колодки; *6, 7* — вставки; *9* — змінна шпилька; *10* — шпилька-ролик; *11* — шпилька; *12* — труба

У рідкозварних мундштуках струм підводиться через струмоведучий корпус і роликові контакти, в колодкових мундштуках — через рухоми колодки, а рухома може пересуватися по стояку.

Принцип дії двох останніх конструкцій досить простий і зрозумілий. Трубчаті мундштуки використовуються для тонкого дроту (діаметром до 2,5 мм), контакт у них здійснюється за рахунок невеликого ексцентриситету осей отворів трубки і наконечника, через які проходить дріт.

Найпоширеніші роликові мундштуки, вони надійні й достатньо довговічні при струмах 800–1300 А. Проте їх не можна використовувати при вузьких розробках. Колодкові мундштуки довговічніші. Їх застосовують в апаратах для струму 1300 А та вище. Чобіткови використовуються при струмах менших 800 А, невеликій шлямунгості струму, в наплавлявальних і електрошлакових апаратах. Нижня частина чобіткових мундштуків компактна, тому вони дуже зручні для роботи в важкодоступних місцях.

9.7.2. Пручні напрямні рукава для зварного дроту, пальники

Конструкція напрямних рукавів, які використовуються в напівавтоматах, нескладна (рис. 9.11). Основною такою рукава є трубка, виготовлена з металу із малим коефіцієнтом тертя або з полимерних матеріалів.

Трубка може бути виконана у вигляді спіралі із дроту відповідного сорту. Трубку покриває внутрішній захисний шар, оболонка і зовнішній захисний шар. У рукавах типу КШПЕ та оболонки розміщені струмоведучі жести й проводи керування, чого немає в рукавах типу КШ. Для зменшення тертя в рукава, трубки яких виготовлені із звичайної сталі, вводить нейтральний змащувальний матеріал (наприклад, дисульфід молібдену), який значно поліпшує протитовкування дроту.

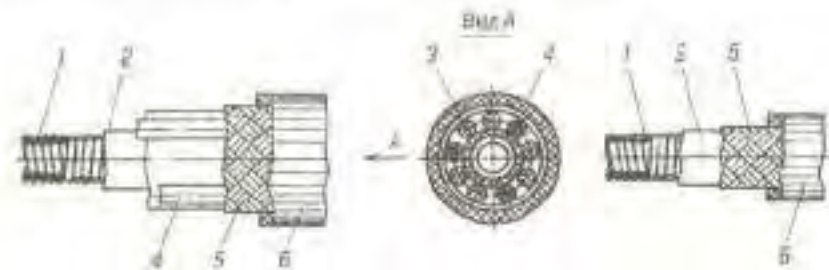


Рис. 9.11. Пручні напрямні рукава.

В — тип КШПЕ; К — тип КШ. 1 — трубка; 2 — захисний шар; 3 — струмоведучі жести; 4 — проводи керування; 5 — оболонка; 6 — зовнішній захисний шар.

Зварювальний струм, захисний газ і охолоджуюча вода в сучасних напівавтоматах підводяться до пальників автономними шлангами; дріт подається шлангом довжиною 3,5–4 м.

Робочим інструментом напівавтомата є пальник (рис. 9.12).



Рис. 9.12. Схема пальника шлангового напівавтомата А-1157П:

1 — рукоятка; 2 — перехідна втулка; 3 — отвір для виходу газу в сопло; 4 — палетка пускової кнопки; 5 — мундштук; 6 — наконечник; 7 — захисний шток; 8 — сопло; 9 — захисна атмосфера.

Пальник має зігнутий мундштук 5 із перехідною втулкою 2 і наконечником 6, рукоятку 1 із галеткою 4 пускової кнопки, захисний шток 7 і сопло 8 для створення навколо зони зварювання захисної атмосфери 9.

Подача дроту вперед і назад здійснюється переключенням пакетного перемикача, який розташований на блоці керування. Кнопка виключення механізму подачі знаходиться на пальнику.

У напівавтоматах, які мають шланги довжиною понад 5 м, для ліквідації нерівномірності подачі дроту застосовують механізм шпанди протитовкувально-протитовкувального типу, в яких протитовкувальний механізм розташований поруч із катушкою, а протитовкувальний — у пальнику.

Схеми шлангових напівавтоматів протитовкувального і протитовкувального типу зображені на рис. 9.13 і 9.14.

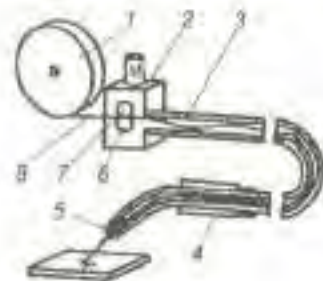


Рис. 9.13. Схема шлангового напівавтомата протитовкувального типу:

1 — катушка; 2 — механізм подачі; 3 — пружинний шланг; 4 — таліач; 5 — наконечник; 6 — приєднаний ролик; 7 — водний сопло; 8 — дріт.

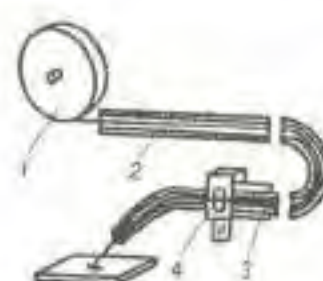


Рис. 9.14. Схема шлангового напівавтомата протитовкувального типу:

1 — катушка; 2 — шланг; 3 — таліач пальника; 4 — ролик подачі; М — електродротний механізм перетягувачки.

9.7.3. Напівавтомати ПДГО-508 і ПДГО-510 для дугового зварювання

Сферондальська електромашинобудівельна фірма «СЕЛМА» освоїла виготовлення напівавтоматів ПДГО-508 і ПДГО-510, призначених для механізованого зварювання шовношугльцевих, листових і корозійостійких сталей зварювальним дротом при постійному струмі. Можливе застосування суцільного й пористкового дротів. Зварювання можна виконувати в середовищі захисних газів й відкритою дугою при роботі з самієквівалентним й розбіжним дротом типу ПП-АП.

Напівавтомати універсальні, пересувні. Існую декілька варіантів конструктивного виконання зварювання із живленням від випромінювача типу ВДУ-506 або від автоматичного блоку керування типу БУСП-04: на колесах або без них. Напівавтомати можуть працювати в комплекті з будь-яким випромінювачем на номінальний струм до 500 А (наприклад, ВДУ-506 з УЗ.1, ВДУ-601 з УЗ.1). Механізм подачі напівакритого типу друтий в експлуатації. В середині нього встановлено редукторний привід угорського виробництва і газовий триєт. Пульс керування зварювальним режимом встановлено на лицевій панелі. Зонні на окремому кронштейні розташовані касета й тормозний пристрій, який відповідає європейському стандарту. Крім того, механізм подачі можна використовувати й при роботі безпосередньо з повною бухтою електродного дроту, вкладає на розм'якчувачі пристрій. Для стикувального вузла з пальником передбачено два виконання: з сарорознімачем або штичним з'єднанням, що дозволяє безперечно працювати з будь-яким типом сучасних пальників.

Блок керування забезпечує повне регулювання швидкості подачі зварювального дроту, керування газовим клапаном і газовим джерелом від іонізації та пальника, а також параметрів зварювального режиму в процесі роботи, встановлення тимчасових інтервалів зварювального циклу, дистанційне відключення джерела живлення зварювального струму, можливість роботи в режимах «довгі шви» та «короткі шви».

Напівавтомати комплектуються пальниками фірми «Бенциль» (табл. 9.5). Порівняно з швелерними напівавтоматами, які випускає вітчизняна промисловість, ці мають такі переваги:

- можливість забезпечення підвищеного тягового зусилля й роботи пальниками в плантані довжиною до 5 м за рахунок подаючого пристрою з двома парами ведучих роликів;
- можливість застосування касети за європейським стандартом, при цьому маса електродного дроту може досягати 15 кг;
- повна автономія живлення і можливість роботи з будь-яким типом зварювальних випромінювачів;
- можливість використання практично всіх типів стандартних пальників з сарорознімачами або штичним з'єднанням;
- покращений дизайн та ергономіку.

Технічна характеристика напівавтоматів

Характеристика	ПДГО-508	ПДГО-510
Напруга мережі живлення, В	3×380	3×380
Частота мережі живлення, Гц	50	50
Номінальний зварювальний струм (при ПВ=60%), А	630	300
Граничні регулювання зварювального струму, А	60-630	60-300
Напруга холостого ходу, В	92	85
Номінальна робоча напруга, В	56	50
Потужність, при споживанні ел. еНВ	34	34
Діаметр електродного дроту, мм:		
сталевий	1,2-2,0	1,2-2,0
порошковий	1,2-2,8	1,6-3,2
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	70-1100	1,6-3,2
Маса, кг	13	15
Габаритні розміри (механізм подачі), мм	350×210×100	640×215×110

9.7.4. Автомати для зварювання

Автоматичне зварювання передбачає автоматизацію процесів збудження та підтримки стійкого горіння дуги, подачі дроту до зони плавлення, переміщення дуги у заданому напрямку вздовж зварювальних кромок із певною швидкістю, припинення зварювання і заварювання кратерів у кінці шва.

У процесі зварювання електрод завжди переміщується у напрямку осі шва. Але це не завжди єдиний рух, який надається кінцю електроду. Для аксіональної заглиблення розробки кромок інколи електроду надають коливаються рухів узаємно перпендикулярно до осі шва із заданою амплітудою і частотою коливань.

Пальники для автоматичного зварювання в середовищі захисних газів із змінним швидкістю вольфрамового електроду. Автоматичне зварювання неіскровим електродом широко застосовують при виготовленні виробів відповідального призначення із сталей і алюмінію, нержавіючих сталей та інших металів і сплавів.

Відомо, що в процесі зварювання вольфрамовий електрод випаровується, що призводить до збільшення довжини дуги та шкідливо зварного шва. При цьому зменшується глибина проплавлення і як наслідок – якість зварних з'єднань. Тому при експлуатації існуючих зварювальних пальників передбачається періодична заміна

процесу зварювання, охолодження пальника і висування електроди на потрібну величину. Оскільки при даному процесі мають місце непродуктивні витрати робочого часу і залежать від регулювання довшини дуги, зниження якості зварного шва в процесі зварювання процесу.

Система автоматичного регулювання вильоту електроди дорет, складні й трудомісткі у виготовленні та експлуатації.

Пальники ПН-3, ПН-6 і ПН-12, виготовлені й випробувані в ВАТ «Азов», розраховані на роботу при різних струмах: ПН-3 працює на струмі 300–600 А, ПН-6 — 600–1000 А і ПН-12 — на струмі 1000–1500 А.

Пальник ПН-6 для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 6–8 мм складається з керамічного сопла 1, корпусу 2, цанги 3, втулки цанги 4, рукоятки переміщення електроди 5, втулки кріплення пальника 6 і струмопроводу 7 (рис. 9.15 а).

ПН-12 — це пальник великої потужності для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 10–12 мм (рис. 9.15 б).

У нових пальниках постійна величина вильоту електроди періодично підтримується обертанням рукоятки 6, для чого опускають нижню фіксуючу гайку. При цьому процес зварювання не переривається.

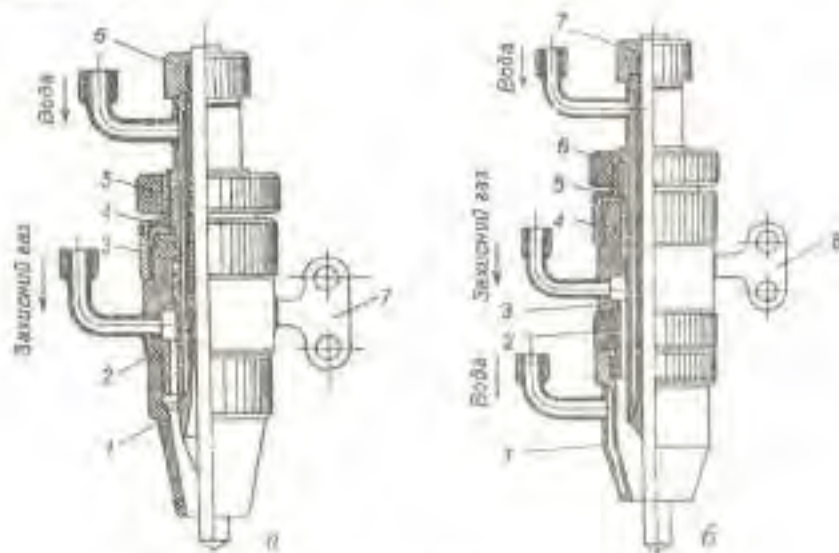


Рис. 9.15. Загальний вигляд пальників:

а — ПН-6 із керамічним соплом: 1 — керамічне сопло; 2 — корпус; 3 — цанга; 4 — втулка цанги; 5 — рукоятка переміщення електроди; 6 — втулка кріплення пальника; 7 — струмопровід;
б — ПН-12 з водоохолоджувальним соплом: 1 — водоохолоджувальне сопло; 2 — перекідна стропильність втулки; 3 — корпус; 4 — цанга; 5 — втулка цанги; 6 — рукоятка переміщення електроди; 7 — втулка кріплення пальника; 8 — струмопровід.

Універсальний зварювальний автомат ТС-42 призначений для автоматичного одно- та багатозарядного зварювання виробів у середовищі захисного газу суцільним і порошковим дюзом на постійному струмі. Зварювання може проводитися з копірами і без них, прямолинійних стикових й кутових швів, швів «у чорник» і похилим електродом, стикових швів з розробкою і без розробки кромки. Зварювальний автомат складається з самохідного тристора (рис. 9.16) і джерела живлення зварної дуги постійного струму — перетворювача ПСТ-500-1 або випрямляча ВС-600.



Рис. 9.16. Універсальний зварювальний автомат ТС-42:

1 — вилка підключення електроди; 2 — пульт керування; 3 — масета з електродним дюзом; 4 — корпус; 5 — підшипниковий механізм; 6 — напрямне колесо.

апарата.

Автомат АДП-502 (рис. 9.17) призначений для зварювання постійним струмом у середовищі вуглекислого газу з'єднань устиков із розробкою та без розробки кромки, для зварювання кутових швів вертикальними і похилим електродом, а також стиків унапусток. Автомат складається з двох вузлів: зварювального трактора і випрямляча ВДУ-504-1. Відрізняється від базового типу АДП конструкцією струмопроводів, наявністю водного охолодження і захисного газу, відсутністю бункера для флюсу. Струмопровід у зоні зварювання захищений водоохолоджувальним соплом, в яке через шпильку надходить вуглекислий газ.

Схема керування виконана на напівпровідникових елементах. Вона дозволяє встановлювати необхідні витрати часу для продування захисного газу, розтягування дуги для зварювання кратера і обдування шва газом після закінчення процесу зварювання.

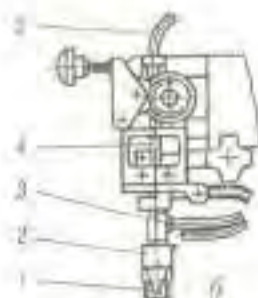
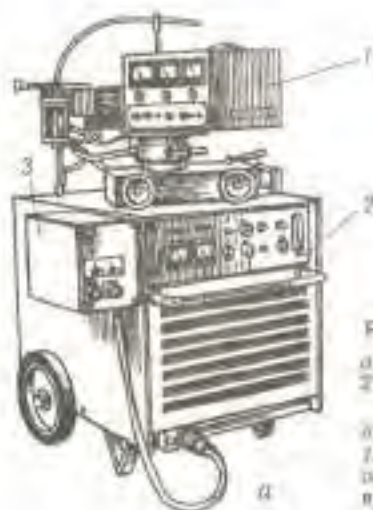


Рис. 9.17. Зварювальний автомат АДГ-502:
 а — загальний вигляд: 1 — зварювальний траєктор; 2 — зварювальний випромінювач ВДТ-500-1; 3 — додатковий пульт керування;
 б — зварювальна голівка траєктора автомата: 1 — зливи струмків газу; 2 — водопровідний сопло; 3 — игла для плавлення вуглекислого газу; 4 — трубка; 5 — шланг для дроту

9.8. РЕЖИМ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ

До основних параметрів режиму автоматичного і напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі належать діаметр електродного дроту, сила зварювального струму, швидкість подачі електродного дроту, швидкість зварювання, висхідний електрод, витрати вуглекислого газу, висхідний електрод вздовж осі шва, різ струму й полярність.

Діаметр електродного дроту. При зменшенні діаметра електродного дроту при інших рівних умовах підвищується стійкість горіння дуги, збільшується глибина провару, зменшується розбрикування рідкого металу, збільшується коефіцієнт виплавлення, що призводить до підвищення продуктивності зварювання. Діаметр електродного дроту вибирають залежно від товщини металу в межах від 0,5 до 3 мм.

Для зварювання тонколистового металу використовують дріт діаметром 0,5–1,2 мм. Метал завтовшки 4–12 мм зварюють за два проходи з обох боків без розчищення, завтовшки 15–20 мм — за два, три проходи з кутом розчищення 60° і притупленням 2–4 мм. При товщині 20–30 мм застосовують двобічне розчищення кромки з кутом 60° і притупленням 2–4 мм. Метал більшої товщини зварюють при вузькому проміжному розчищенні кромки за декілька проходів.

Сила зварювального струму. При збільшенні сили зварювального струму, збільшується глибина провару, що призводить до збільшення частки основного металу в шві. Ширина шва спочатку збільшується, а потім зменшується. Силу зварювального струму встановлюють залежно від вибраного діаметра електрода.

Рід і полярність струму. Зварювання плавким електродом виконують на зворотної полярності. При прямій полярності швидкість розплавлення в 1,4–1,6 рази вища, ніж при зворотної, проте дуга горить менш стабільно з інтенсивним розбрикуванням. Крім того, одержують не якісні, недовільно оформлені шви.

Швидкість подачі електродного дроту. Швидкість подачі дроту залежить від сили зварювального струму. Її встановлюють з таким розрахунком, щоб при зварюванні не виникало коротке замикання та обрив дуги, а процес плавлення електрода протікав стабільно.

Швидкість зварювання. За збільшення швидкості зварювання зменшуються всі поперечні розміри шва. Її встановлюють залежно від товщини металу та умов нормального формування шва. При зварюванні металу великої товщини розробку кромки краще виконувати вузькими шліфками на великій швидкості. При дуже великій швидкості зварювання кінець електрода може вийти з зони захисту і окиснитися на повітрі. Мала швидкість зварювання спричинює збільшення зварної ванни і відшук можливості утворення пор у металі.

Швидкість зварювання становить 15–80 м/год. При автоматичному зварюванні якісні з'єднання можна одержати при товщині металу понад 0,5 мм, при механізованому — понад 1 мм. В основному зварюють метал товщиною понад 3 мм.

Висхідний електрод. За збільшення висхідності електрода поліпшується стійкість горіння дуги і формування шва, а також збільшується розбрикування рідкого металу. При зварюванні з дуже малим висхідним поліпшується світостійкість за процесом зварювання і часто підгорають газове сопло й струмопровідний контактний наконечник. Крім висхідності електрода необхідно витримувати відстань від сопла пальника до поверхні металу, оскільки із збільшенням цієї відстані поліпшується газовий захист зони зварювання і можливе пошкідження кисню та азоту повітря в розплавленій метал, що призводить до появи газових пор. Величину висхідності електрода, а також відстань від сопла пальника до поверхні металу встановлюють залежно від вибраного діаметра електродного дроту (табл. 9.6).

Таблиця 9.6

Граничні значення висхідності електрода, відстані від сопла пальника до поверхні металу і витрати газу залежно від діаметра електродного дроту

Діаметр електродного дроту, мм	Висхідний електрод, мм	Відстань від сопла пальника до поверхні зварювального металу, мм	Витрати вуглекислого газу, дм ³ /хв
0,5–0,8	7–10	7–10	3–8
1,0–1,4	8–15	8–14	8–16
1,6–2,0	15–25	15–20	15–20
2,5–3,0	18–30	18–22	20–30

Витрати вуглекислого газу визначають залежно від вибраного діаметра електродного дроту. На витрати газу впливає також швидкість зварювання, конфігурація виробу й величина руху повітря, тобто протягів у щель, вітру тощо. У таких випадках для покращення газового захисту необхідно збільшувати витрати вуглекислого газу, зменшувати швидкість зварювання, наближати сопло до поверхні металу або використовувати захисні шита. Але збільшені витрати вуглекислого газу можуть призвести до значного витворення кремнію та марганцю.

Нахил електрода надовж шва впливає на глибину провару та якість шва. При зварюванні кутом вперед майже неможливо оперігати за формуванням шва, але краще видно зварні крошки і легше направити електрод точно в азор між ними. Ширини шва при цьому зростає, глибина провару зменшується. Зварювання кутом вперед рекомендується застосовувати при невеликих товщинах металу коли існує небезпека наскрізних провалів. При зварюванні кутом назад покращується видимість зони зварювання, підвищується глибина провару і наплавлений метал є більш щільним.

У довідковій літературі орієнтовні режими приводяться у вигляді таблиці, в яку включено лише основні параметри режиму. В табл. 9.7 рекомендується режими для зварювання вуглецевих і нікелекобальтованих сталей у вуглекислому газі постійним струмом зворотної полярності для дроту типу Ca 08 Г2С.

Таблиця 9.7

Орієнтовні режими напівавтоматичного зварювання сталевих листів устик без розробки кромок у вуглекислому газі

Товщина металу, мм	Ширина зазору, мм	Кількість шарів	Діаметр дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напряг дуги, В	Швидкість зварювання, м/год	Витрати газу, л/см
0,6-1,0	0,5-0,8	1	0,5-0,8	50-60	18	20-35	6-7
1,2-2,0	0,8-1,0	1-2	0,8-1,0	70-100	18-20	18-25	10-12
3,0-5,0	1,6-2,0	1-2	1,6-2,0	180-300	25-28	20-25	14-16
6,0-8,0	1,8-2,2	1-2	2,0	280-380	28-35	18-24	16-18
8,0-12	1,8-2,2	2-3	2,5	280-450	27-35	16-30	18-20

У практиці застосовують також зварювання на підвищених (форсованих) режимах, збільшених силі струму, напрузі дуги та швидкості зварювання, що дозволяє збільшити продуктивність на 25-75%. У масовому виробництві (наприклад, при виробництві шашів коліс автомобіля) застосовують швидкісне автоматичне зварювання у вуглекислому газі дротом діаметром 3-5 мм. В обмеженому обсязі використовують зварювання у вуглекислому газі веплавним пусльким електродом бортових з'єднань із низьковуглецевих сталей завтовшки 0,3-2 мм (наприклад, квітці, корпусів конденсаторів

тощо). Зварювання виконують без присадки постійним струмом. Спосіб продуктивний, проте міцність з'єднання становить 50-70% міцності основного металу. Характерний режим зварювання металу товщиною 2 мм - це струм 120-130 А, швидкість зварювання 50-55 м/год, довжина дуги 2-3 мм, висіт електрода 40-45 мм, діаметр електрода 6 мм.

У довідковій літературі орієнтовні режими приводяться у вигляді таблиці, в яку включаються лише основні параметри режиму.

9.9. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ТЕХНІКИ ЗВАРЮВАННЯ

Ручне й напівавтоматичне зварювання виконують «на вазі». Автоматичне зварювання можна виконувати на підкладках, які знімаються або залишаються, чи на флюсових подушках. Найкращі результати одержують при використанні газових подушок (рис. 9.18). Вони покращують формування кореня шва, а при зварюванні активних металів сприяють захисту нагрітого твердого металу від взаємодії з повітрям. Газ, що подається в подушку, за складом можуть бути титаном, ж, як і тл, що застосовуються для захисту зони зварювання.

Якість шва визначається надійністю витіснення від зони зварювання повітря. Необхідні витрати захисного газу встановлюються залежно від складу й товщини металу, який зварюється, конструкції зварного з'єднання, швидкості зварювання, складу захисного газу.



Рис. 9.18. Схеми газових подушок: а, б - одно- і двобічне зварювання; 1 - захисний газ; 2 - мілка підкладка

Вплив швидкості зварювання на надійність захисту зони зварювання показано на рис. 9.19.



Рис. 9.19. Зварювання на малих (а), середніх (б) і великих (в) швидкостях

Вітер і протяги знижують ефективність газового захисту. Тому витрати захисного газу необхідно підвищувати на 20-30%, а також збільшувати діаметр отвору сопла, наближати пальник до поверхні деталі. При зварюванні на великих швидкостях палиник слід нахилити кутом вперед, а при автоматичному зварюванні застосовувати бокову лопатку газу.

Так, при ручному зварюванні при збільшенні товщини зварюваних елементів із алюмінієвих сплавів з 2 до 4 мм витрати вольфраму збільшуються з 23 до 88 г на 100 м шва, а при напівавтоматичному – з 11 до 38 г на 100 м шва. При напівавтоматичному зварюванні витрати вольфраму в 2–3 рази менші, ніж при ручному. Дуга постійного струму при прямій полярності (мінус на вольфрамовому електроді) добре запалюється і стійко горить, напруга дуги дорівнює 10–15 В і плавно при великих струмах підвищується до 25–30 В; електрод майже не нагрівається, допустимі високі швидкості струму; витрати вольфраму незначні. При зворотній полярності (плюс на вольфрамовому електроді) збільшується швидкість дуги, зменшуються її стійкість, підвищується нагрівання електрода, зменшуються витрати електроду, зменшується глибина пропалювання основного металу.

Дуга при зворотній полярності виконує функцію очищення, тому що електрод бомбардується електронами, а поверхня металу – важкими іонами аргону, які подібно до ніскострумного процесу розбивають ітвірку оксидів і здувають її з поверхні.

Негативна для зворотної полярності на стійкість горіння дуги і сильний нагрів вольфрамового електрода дають можливість застосування змінного струму при зварюванні алюмінієвих і магнієвих сплавів.

При зварюванні електродами малого діаметра на змінному струмі витрати вольфраму майже в 1,5 рази більше витрат при зварюванні на постійному струмі. Вуглецеві й легировані сталі, корозійностійкі та жароміцні сталі й сплави, мідь і мідні сплави, нікель і нікелеві сплави, титанові сплави та інші метали, що майже не окиснюються, доцільно зварювати дугою постійного струму прямої полярності (табл. 9.8).

Таблиця 9.8

Зварюваність металів при аргондуговому зварюванні вольфрамовим електродом

Метали, що зварюються	Змінний струм	Постійний струм, полярність	
		пряма	зворотна
Ніакобонітредова, ніакоб- і середньолегирована сталі, корозійностійкі й жароміцні сталі та сплави	Задовільна зварюваність	Добра зварюваність	Не рекомендується
Алюміній і його сплави, магній і його сплави	Добра зварюваність	Не рекомендується	Задовільна зварюваність
Мідь і мідні сплави	Не рекомендується	Добра зварюваність	Не рекомендується
Титан і його сплави, цирконій, срібло	Задовільна зварюваність	Добра зварюваність	Не рекомендується

9.10. ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ

Техніка напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі майже аналогічна техніці зварювання під флюсом.

Перед початком зварювання необхідно включити газ і перевернути його витрати, зачекати декілька секунд, щоб повністю виійшло повітря з шлангів, і обдуть місце зварювання вуглекислим газом. Недотримання цих умов призводить до утворення пор на початку шва.

У момент закінчення процесу зварювання перестають пересувати дугу, вимикають подачу дроту й зварювальний струм, затримують на 1–2 с мундштук над кратером, щоб застигло метал зварної ванни від окиснення, а потім відводять тримач від місця зварювання. Закінчувати процес зварювання розтягуванням дуги не рекомендується. Перед закінченням процесу зварювання рекомендується закрити кратер шва металом. Заповнення (зварювання) кратера металом особливо необхідне при зварюванні дротом діаметром понад 1,2 мм, оскільки в незаповненому кратері в даному випадку після твердіння металу утворюються шари тріщин (гарячі тріщини). Більшість з них можна ліквідувати продавленням при виконанні наступного шару шва, причому в кратері наступних шарів тріщини не утворюються. Тріщини глибиною понад 3 мм при накладанні наступного шару частіше не вдається ліквідувати, і вони залишаються в шві у вигляді поодиноких шарів. Експериментально встановлено, що тріщини не утворюються в кратері, якщо в момент обриву дуги зменшити до мінімуму зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту. При цьому кратер повністю заварюється. Крайні результати одержують, якщо перед обривом дуги зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту зменшують поступово.

В Інституті електрозварювання ім. А. О. Патона розроблено напівавтомат для зварювання металу у вуглекислому газі, який забезпечує заварювання кратера в кінці шва, що ліквідує утворення в ньому тріщин. Напрямки зварювання напівавтомат спеціальною кнопкою переключається на заварювання кратера.

При використанні звичайних напівавтоматів закінчувати процес зварювання необхідно на висхідній плазмі (особливо при зварюванні віднощдальною виробів).

Стикові з'єднання в шкільному положенні зварюють напівавтоматом при нахилі електрода від 5 до 20° кутом уперед або (рідше) кутом назад. Таврові з'єднання, розташовані не «в чолі», зварюють з таким же нахилом електрода в напрям зварювання і з нахилом його уперед шва на кутом 40–50° до горизонту. При цьому електрод направляють або точно в кул, або зміщують на 1–1,5 мм на горизонтальну позначку.



Рис. 9.20. Положення наконечника напівавтомата і прийоми переміщення електрода при зварюванні у вуглекислому газі в нижньому положенні

Топлий метал у нижньому положенні зварюють при рівномірному поступовому переміщенні електрода (без поперечних коливань) за виключенням ділянок, які мають азори. З'єднання із зазорами зварюють поперечними коливаннями електрода. При зварюванні в нижньому положенні стикових з'єднань великої товщини з V-подібною розробкою кромки перший шар (корінь) шва виконують рівномірно-поступальними або зворотньо-поступальними переміщеннями електрода.

Середні шари багатшарового шва виконують при переміщенні електрода за витягнутою спіраллю, а верхні шари – змійкою. Крок переміщення і амплітуда поперечних коливань електрода приймаються залежно від ширини розробки кромки. Переміщення електрода змійкою може виконуватися так, як показано на рис. 9.20, а також у протилежному напрямку (вперед, потім назад і знову вперед).

З'єднання виснуток з металу товщиною до 1,5 мм зварюють електродом у вертикальному положенні, переміщуючи дугу за кромкою верхнього листа. При товщині металу від 2 мм і більше нахил електрода і переміщення дуги повинні бути такими ж, як і при зварюванні таврових з'єднань.

З'єднання різного типу у всіх просторових положеннях можна зварювати у вуглекислому газі дротом діаметром 0,5–1,2 мм. Досвідчені зварники зварюють вертикальні й горизонтальні шви великих перерізів дротом діаметром до 1,6 мм.

Зварювання у всіх просторових положеннях, крім нижнього, виконують на пониженій напрузі (17–19 В) і тільки досвідчені зварники при зварюванні вертикальних швів підвищують напругу дуги до 20–22 В.

Напівавтоматичне зварювання тонколистового металу у вертикальному положенні, а також вертикальні кутози шви з катетом до 5–6 мм виконують зверху вниз.

На початку процесу зварювання електрод розташовують перпендикулярно до зварних кромки, щоб забезпечити необхідний провар початку шва. Після утворення зварної ванни електрод нахляють ширше горизонталі на кут 10–15°. При цьому тисок дуги стрімко утримує рідкого металу зварної ванни від стікання.

Зварювання тонколистового металу в горизонтальному положенні за технікою виконання аналогічне зварюванню у вертикальному положенні. Після збудження дуги електрод розташовують нижче горизонталі для утримання металу зварної ванни від стікання. У сталевому положенні шви зварюють на пониженому зварувальному струмі і напрузі дуги при певному збільшенні витрат вуглекислового газу. Для кращого утримання рідкого металу від стікання електрод установлюють з невеликим кутом нахилу назад. Якщо необхідно одержати широкий валок шва, електродом здійснюють поперечні коливання. При масовому виробництві однотипної виробів з кільцевими стівами можна зварювати автоматом (притому автомат повинен бути нерухомим, а виріб обертатися із заданою швидкістю). Кромки повинні бути точеними, розробка – V-подібною без пригладження. Зазор у стикі не повинен перевищувати 0,8 мм, а неспівпадення кромки повинні бути не більше 1 мм. Перший шар (корінь) шва виконують при горизонтальному положенні дроту (або під кутом до 30° до горизонту) діаметром 1 мм за режимом: зварувальний струм – 180–190 А, напруга дуги – 20–22 В, швидкість зварювання – 30 м/год. Виріб потрібно обертати так, щоб зварювання виконувалося в положенні зверху вниз (рис. 9.21).

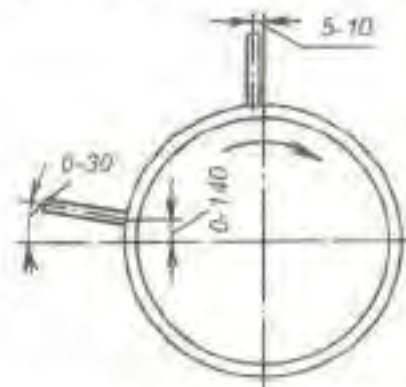


Рис. 9.21. Схема розташування електрода при автоматичному зварюванні у вуглекислому газі поворотних кільцевих стиків:

зверху – електрод діаметром 1 мм (зварювання кореня з'єднання) зверху – електрод діаметром 2 мм (виконання поступальних шарів шва). Стрілками вказано напрямки обертання зварного виробу.

Другий та наступні шари виконують дротом діаметром 2 мм, розташованим вертикально на вершні стіку.

9.14. ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ВУГІЛЬНИМ І ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Процес зварювання вугільними електродами характеризується такими особливостями:

- температури плавлення і кипіння вугільних електродів досить високі й настільки близькі ($T_{пл} = 3800^\circ\text{C}$, $T_{кип} = 4200^\circ\text{C}$), що практично процес плавлення не відіється (шпестеритого, видно тільки повільне випаровування);

- зварювання вугільними електродами можна вести тільки на прямій полярності (мінус на електроді). При зворотній полярності спостерігається недостатньо стійке з'єднання дуги, незадовільне формування шва, проходить науглецювання наплавленого металу, електрод сильно розігрівается та великій довжині, що призводить до його випаровування;

- коефіцієнт корисної дії дуги при зварюванні вугільним електродом значно нижчий, ніж при зварюванні металевим плавним електродом;

- дуга в процесі зварювання кутиться до рівних зовнішніх впливів, потоку газів, вітру і т. д., а також сильно піддається магнітному дуттю.

Вугільні електроди успішно використовують для зварювання тонких металевих листів, зварювання дефектів лиття, зварювання кольорових металів і шпестеритових з'єднань.

На сьогодні використовують наступні способи зварювання вугільним електродом тонколистового металу: без присаджувального матеріалу; з подачею присаджувального матеріалу в дугу; з попереднім укладанням присаджувального матеріалу.

Зварювання без присаджувального матеріалу є найпростішим способом, який широко застосовують. При цьому спосіб дуга оплаває кромки зварних деталей. Його застосовують для зварювання листів при з'єднаннях із відбортуванням, кутових з'єднань і випуск.

Слід зауважити, що продуктивність зварювання при товщині листів 1–3 мм може бути значно вищою продуктивності ручового дугового зварювання покритими металевими електродами. Без присаджувального матеріалу успішно зварюють кутинки, шпестерит та інші профілі, в яких шов утворюється за рахунок розплавленого металу кромки або полицки.

Зварювання стикових з'єднань цим способом дає послаблений шов і тому його можна застосовувати тільки в тих випадках, коли шов не буде піддаватися значному навантаженню.

Характерні типи зварних з'єднань, які можна виконувати цим способом, показані на рис. 9.22.

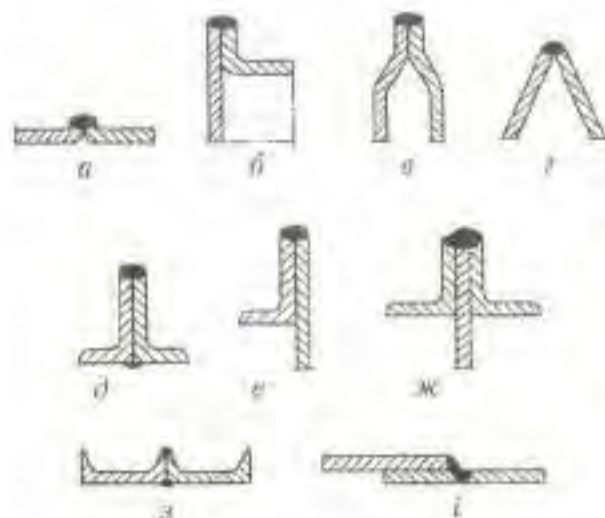


Рис. 9.22. Приклади застосування зварювання без присаджувального матеріалу:

а — стикове з'єднання листів товщиною 1–2 мм з відбортуванням кромки; б — приєднання штампіваного днища до рибайки; в — з'єднання кожуха, емкостей; г — кутове з'єднання; д, е, ж, з — різні види з'єднань із кутинки штапелів і листів; і — з'єднання випуск.

Зварювання тонких листів із подачею присаджувального матеріалу в дугу ведеться за схемою (рис. 9.23). При цьому зварник у лівій руці тримає присаджувальний пруток, а в правій — тримає із вугільним електродом. Фасел дуги направляє на кінці присаджувального матеріалу, забезпечуючи пропалу при зварюванні тонких листів. Цей спосіб ефективний при зварюванні кольорових металів і виправленні дефектів лиття.

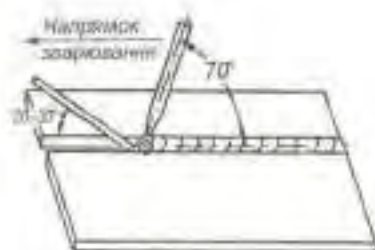


Рис. 9.23. Зварювання тонких листів з подачею присаджувального металу в дугу

Зварювання з подачею присаджувального матеріалу в дугу можна виконувати «лівою» і «правою» способами. При «лівому» способі (рис. 9.24 а) присаджувальний пруток розташовують між електродом та основним металом; полум'я дуги направлено на основний метал. При «правому» способі (рис. 9.24 б) присаджувальний пруток розташовують між наплавленим залітком і вугільним електродом, а полум'я дуги направлено на розплавлений метал.

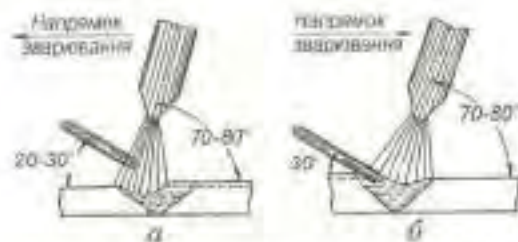


Рис. 9.24. Схема «лівого» (а) і «правого» (б) способів зварювання з подачею присаджувального матеріалу

Режими зварювання графітовими електродами

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Швидкість зварювання, м/год
1,5	5	90-100	45
2	6	125-135	40
2,5	6-8	100-250	35
3	6-8	250-275	30

Вугільні електроди успішно застосовують для зварювання кольорових металів і для наплавлення твердих сплавів. При цьому використовують дугу дотичної дії, яка збуджується між двома вугільними електродами. Зварювання ведуть на змінному струмі (табл. 9.11).

Таблиця 9.11

Режими зварювання вугільними електродами при використанні дуги дотичної дії

Вид зварювання і матеріали	Товщина зварного елементу, мм	Сила струму, А
Зварювання свинцю, мідних листів і сплавів алюмінію	0,3-0,6	15-30
Зварювання нержавіючих сталей, мідних листів і сплавів алюмінію	1-3	25-50
Нагрів металу, паяння твердими припоєм, наплавлення твердих сплавів	—	60-150

9.12. ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В СУМІШІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ НА ОСНОВІ АРГОНУ

При механізованому зварюванні вуглецевих і нізколегированих сталей в якості захисного газу широко використовується вуглекислий газ. Але процес зварювання в цьому газі порід із перевагами має й суттєві недоліки, що обмежують його використання при виготовленні відповідальних металоконструкцій, а також у випадках, коли робота буде атестована міжнародними сертифікаційними організаціями.

Недоліками зварювання у вуглекислому газі є:

- великі втрати електродного металу на розбрикування;
- наявність браку на поверхні зварних виробів;
- низька якість поверхні шва (нерівності й груба лускатість);
- не завжди задовільні показники механічних властивостей металу шва, особливо ударної в'язкості при мінусових температурах.

При «правому» способі нагрівання концентрованоше, ніж при «лівому», що докилоє аварювати на великих швидкостях. Але при «правому» способі можливі прожари. На практиці частіше застосовують «лівий» спосіб, а «правий» — при зварюванні товстих металевих деталей.

Зварювання з попереднім укладанням прутів або стрічок застосовують при виконанні стикових і кутових швів на металевих листах (рис. 9.25).

При цьому утворюється посилений шов за рахунок сплавлення кромки зварних листів і присадкувального прутка.

Зварювальний струм підбирають залежно від товщини металу, виду зварного з'єднання, діаметра електрода залежно від товщини зварних листів із таким розрахунком, щоб електрод не розігрівався по всій довжині до світло-чорного квітіння, при якому він швидко випаровується та розтікається.

Приблизний режим зварювання з'єднань низьковуглецевої сталі вугільним електродом наведено в табл. 9.9.

Таблиця 9.9

Режим зварювання вугільними електродами

Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Сила струму, А	Діаметр електрода, мм	Швидкість зварювання, м/год
Однобічний стиковий шов	2	200	10	20
	3	300	12	20
Однобічний кутовий шов	2	150	10	20
	3	250	10	15
З відбортуванням кромки	1	150	10	30
	2	200	10	40

Збільшення щільності струму можна допустити при користуванні графітовими електродами, що тонші й зручніші в роботі. Орієнтовні режими зварних з'єднань із відбортуванням кромки при використанні графітових електродів приведено в табл. 9.10.

При зварюванні тонких листів вугільним електродом зовнішній вигляд шва кращий, ніж при зварюванні покритим металевим електродом.

Механічні властивості зварюних з'єднань практично знаходяться на рівні властивостей основного металу.

Механічні властивості металу шва і наплавленого металу при зварюванні дротом Св-08Г2С у суміші Ar + 20% CO₂

Основний метал	Спеціальний струм, А	Напруга на дугі, В	Температура металу, МПа	Температура після розпуску МПа	Відносна пористість, %	Відносна деформация, %	Ударне в'язкість (Шарп) Дж/см ² при температурі °С			
							+20	-20	-40	-60
<i>Метал шва</i>										
Ст50С	280-290	26-28	423	352	25,5	67,0	96	70	41	-
Ст10ХСНД	290-300	28-29	539	699	21,7	55,1	145	76	56	37
Ст08Г2	300-320	29-30	490	305	29,3	70,3	196	135	93	65
Ст08Г2С	290-270	26-27	477	386	23,0	58,6	102	86	73	44
<i>Наплавлений метал</i>										
	280-290	27-29	410	525	33,1	69,2	170	118	89	68

Примітка. Механізоване дугове зварювання виконували на постійному струмі зворотної полярності дротом діаметром 1,2 мм. Витрати захисного газу становили 16-18 л/хв, висота електроди — 18-20 мм. Попередній середній автентив на роз'їзтованні шпиробувачів 3-5 аркади.

Досягті високі також показники стійкості металу швів, зварених в аргонних сумішах, проти утворення кристалізаційних тріщин. Використання ірдонових сумішей дозволяє досягти високих значень в'язкості стійкості проти утворення тріщин металу шва.

Зварювання в сумішах Ar + CO₂ і Ar + CO₂ + O₂ можна відсутувати у всіх просторових положеннях із зварювальним обладнанням, апаратурою й джерелами живлення для зварювання у вуглекислому газі. При цьому напруга дуги повинна бути на 2-3 В вище порівняно із зварюванням у чистому CO₂ при такому ж зварювальному струмі і не перевищувати значень, рекомендованих для зварювання у вуглекислому газі.

Технологічні переваги захисних сумішей на основі аргону особливо проявляються при значеному зварювальному струмі, які забезпечують струмінне перенесення електродного металу. В табл. 9.13 наведені значення критичного зварювального струму, при якому розпочинається струмінне перенесення, для різних діаметрів зварюного дроту, полярності струму з використанням імпульсно-дугового процесу зварювання (ІДЗ) у суміші Ar + 20% CO₂. Суміші на основі

Світловий досвід показує, що одним із ефективних шляхів удосконалення механізованого зварювання сталі сплавами електродами в окислювальних захисних газах є використання сумішей захисних газів замість вуглекислого. З точки зору поєднання високих зварювально-технологічних характеристик та економічних показників найперспективнішим є суміші аргону з окислювальними газами (кисень, вуглекислий газ): Ar + 20-25% CO₂; Ar + 20-30% CO₂ + 3-7% O₂. Такі суміші забезпечують оптимальне поєднання зварювально-технологічних характеристик, вартості виконання зварювальних робіт і якості зварних конструкцій.

Необхідно відзначити, що потрібна суміш Ar + CO₂ + O₂ має високий окислювальний потенціал порівняно з сумішшю Ar + CO₂ і забезпечує підвищену стійкість швів проти утворення пор від вуглецю. Тому її застосовують при зварюванні сталей із збільшенням вмісту металу та сплавами окислими, товстого металу на підвищених режимах дротами великого діаметра, а також у тих випадках, коли захисні зони зварювання ускладнюються (наприклад, зварювання в можливих умовах при швидкості вітру не менше 1,5 м/с).

Порівняно із зварюванням у вуглекислому газі, зварювання в аргонних сумішах оптимального складу забезпечує:

- зменшення витрат електродного металу на розробіткування в 3-4 рази;
- зниження трудоемкості при зачищенні основного металу від бризок у 8-10 разів;
- підвищення продуктивності праці зварників на 10-20%;
- можливість використання імпульсно-дугового процесу і технологічних прийомів, які підвищують продуктивність зварювальних робіт (зварювання на прямій полярності, подовженню висоти електроди зварювання на підвищеній швидкості);
- підвищення показників механічних властивостей металу шва, в т. ч. значення ударної в'язкості при мінусових температурах;
- поліпшення санітарно-гігієнічних і екологічних характеристик процесу зварювання.

До недоліків зварювання в аргонних сумішах відносяться підвищене світлове й теплове випромінювання зварювальної дуги та висока вартість сумішей.

Для зварювання практично всіх поширених марок конструкційних низьковуглецевих і низьколегованих сталей в суміші Ar + CO₂ і Ar + CO₂ + O₂ можна використовувати стандартний зварювальний дріт Св-08Г2С і Св-08ГС за ГОСТ 2244 або їх закордонні аналоги, які застосовуються для зварювання в CO₂. З'єднання конструкційних сталей, зварених у захисних газових сумішах на основі аргону стандартним зварювальним дротом, відрізняються високими показниками механічних властивостей (табл. 9.12). Необхідно відзначити високе значення ударної в'язкості металу шва при мінусових температурах.

аргону дозволяють виконувати зварювання на постійному струмі прямої полярності та одержувати при цьому нормальне формування шва з невеликою часткою участі в ньому основного металу.

Формування швів покращується при зварюванні в сумішах на основі аргону. Висота випуклості шва зменша, чим при зварюванні у вуглекислому газі, який шва має плавний перехід до основного металу, формується дрібнолуската поверхня шва, за зовнішній виглядом аналогічна поверхні швів, зварених під флюсом.

Справедлива форма шва, невисока випуклість і зменшена кількість витрат електродного металу розбрикуванням забезпечують певне зменшення витрат електродного дроту на одиницю довжини шва. Зварювання в аргонних сумішах, на відміну від зварювання у вуглекислому газі, дає можливість використовувати імпульсно-дуговий процес, при якому приходить дрібнокрапельне перенесення металу з частотою відриву крапель, яка відповідає частоті накладання імпульсів струму.

Дрібнокрапельне перенесення проходить при швидкому середньому значенні зварювального струму порівняно в умовах струмінного перенесення електродного металу під час зварювання без нанесення імпульсів.

Застосування імпульсно-дугового процесу дозволяє використовувати дріт одного й того ж діаметра при багатьох варіантах технології зварювання, тоді як при зварюванні без імпульсів застосовують дріт різних діаметрів залежно від товщини металу, який зварюється, просторового положення шва, теплофізичних властивостей металу, який зварюється, та інших показників.

На сьогодні цей процес розвивається в промислово розвинутих країнах, які мають принципно нові імпульсні джерела живлення дуги, за допомогою яких можна створювати імпульси струму довільної форми та амплітуди з певним регульованим частоті й довжиною імпульсів.

Таблиця 9.13

Значення критичного струму переходу до струмінного перенесення електродного металу при зварюванні в суміші Ar + 20% CO₂ дротом Св-08Г2С

Діаметр дроту, мм	Критичний струм зварювання		
	зворотня полярність	прямая полярність	ІДЗ
1,0	240	—	160
1,2	280	350	180
1,4	300	380	210
1,6	340	420	240
2,0	400	460	—

Розроблене в ІЕЗ ім. Є. О. Патона джерело імпульсного струму І-169 за технічними характеристиками не поступається західним зракам, а за деякими навіть перевершує їх.

Поряд із технологічними й економічними перевагами, зварювання в сумішах газів на основі аргону має також поліпшені гігієнічні та екологічні показники порівняно із зварюванням у вуглекислому газі. Наприклад, у зоні дихання зварника і повітря приміщення віддається менше токсичних газів. Завдяки зменшенню рівня шкідливих викидів при зварюванні крім соціального ефекту (зменшення захворювання робітників) з'являється можливість зменшення інтенсивності загальнооб'ємної та місцевої вентиляції, тобто зменшення встановлених потужностей вентиляційних установок і затрат на електроенергію та їх обслуговування.

Найбільший техніко-економічний ефект досягається при зварюванні в сумішах:

- конструкцій, які за технічними умовами не повинні мати приварених бризок металу;
- конструкцій, призначених для експлуатації в умовах низьких температур і динамічних навантажень;
- багатопрхідних швів товстостенового металу;
- вузлів і з'єднань на автоматизованих установках і лініях.

Висока якість зварних швів і з'єднань, яка досягається за рахунок застосування зварювання в аргонних сумішах, дозволяє з мінімальними затратами отримувати продукцію за нормами міжнародних сертифікаційних установ.

Склад сумішей (подвійна чи потрійна) вибирають залежно від того, який газ (аргон чи суміш Ar + O₂) виробляють на заводі. Це стало можливим завдяки тому, що на металургійних і чорних підприємствах України були введені в дію потужні повітрярозділювальні установки. На цих установках однією з продукцій є кисень і азот вироблена велика кількість побіжного продукту — газу аргону або аргонно-кисневу суміш у двох-трьох виді. Значну кількість цих газів можна використати у зварювальному виробництві.

9.13. ЗВАРЮВАННЯ ПОРОШКОВИМ ДРОТОМ

Зварювання порошковим дротом виконують у вуглекислому газі під флюсом, а також відкритою дугою без додаткового захисту зварної ванни. Зварювання відкритою дугою застосовують у випадках, коли не можна використати механізовані способи зварювання під флюсом або у вуглекислому газі.

Зварювання порошковим дротом проводять на постійному струмі зворотної полярності. Джерела живлення повинні мати жорсткі характеристики.

При зварюванні порошковим дротом у поєднанні з додатковим захистом вуглекислим газом можна добре розкрити новий метал зварної ванни, за допомогою шлaku знизити вміст у шві газів пор. Шов буде мати високі пластичні властивості при шлюсових і м'якуватих температурах.

Порошковим дротом можна зварювати шви стикових, кутових, таврових напуеткових з'єднань з розробкою та без розробки кромок. Поверхні, які зварюються, повинні бути захищені від бруду, масла, іржі.

Прихватки створюються листямми електродами або ж порошковим дротом.

9.13.1. Режим зварювання

Параметри режиму зварювання порошковим дротом такі ж як і при зварюванні у вуглекислому газі. Діаметр дроту і силу зварювального струму встановлюють залежно від товщини металу який зварюється, необхідної кількості шарів шва та положення шва у просторі. Швидкість подачі дроту залежить від величини зварювального струму, напруги дуги, діаметра і марки порошкового дроту.

Видіт електрода знаходиться в прямій залежності від діаметра дроту. При збільшенні діаметра дроту від 1,4 до 3 мм збільшується видіт електрода від 7–10 мм до 20–25 мм. Видли режим зварювання на геометричні розміри й форми шва такі ж, як і у вуглекислому газі.

Орієнтовні режими зварювання низьковуглецевої сталі порошковим дротом ПП-АНІ відкритою дугою шланговим напівавтоматом А-76Б наведені в табл. 9.14.

Таблиця 9.14

Орієнтовні режими зварювання низьковуглецевих сталей відкритою дугою порошковим дротом ПП-АНІ

Положення шва в просторі	Діаметр порошкового дроту, мм	Напруга дуги, В	Сила зварювального струму, А	Швидкість зварювання, м/год	Видіт електрода, мм	
Нижній	2,5	22–25	250–270	12–14	10–20	
	3,0	23–25	300–330	12–16	15–20	
Горизонтальне	1,8	20–23	220–250	14–20	10–15	
	2,0	22–25	240–270	16–20	12–18	
	2,5	23–26	270–320	16–22	15–20	
Вертикальне						
	зверху вниз	1,5	19–21	180–200	—	10–15
	знизу вверх	1,5	20–21	160–180	—	10–15
зверху вниз	2,0	20–22	140–170	—	10–15	

9.13.2. Техніка зварювання

Техніка напівавтоматичного зварювання порошковим дротом аналогічна техніці напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі. Вона мало відрізняється від техніки ручного дугового зварювання, але вимагає певних навиків при зварюванні порошковим дротом різних марок.

Зварювання ведеться короткою дугою, тому що при збільшенні її довжини збільшується розбризкування рідкого металу, погіршується його захист від кисню та азоту повітря, а дроті зростає вигорання елементів, що призводить до утворення пор у наплавленому металі. Якщо дуга дуже коротка, падає напруга, що призводить до незадовільного формування шва і появи шлакових включень.

Особливу увагу слід приділяти вильоту електрода. При його зменшенні мушкетер сильно забризкується, до нього приварюється дрот, а у шві утворюються дефекти.

При збільшенні вильоту електродів осердя дроту перегрівається, що призводить до передчасного вигорання газодіючих складових і до утворення пористості шва. Необхідно слідкувати, щоб шлак не заїкався наперед дроту, тобто дрот повинен переміщуватися по краю зварної ванни.

Кольцеві рухи електрода залежать від товщини металу й ведуться за витягнутою спіраллю або «зміркою». Допускається нахил уперед або назад до 15–20°. При зварюванні кутових швів електрод нахлюється на кут 30–40° до вертикалі.

9.14. ЗВАРЮВАННЯ САМОЗАХИСНИМ ДРОТОМ

Зварювання дротом судільного перерізу без додаткового захисту розроблено для виконання монтажних робіт у заводських умовах, коли зварювання у вуглекислому газі застосовувати не можливо.

При зварюванні відкритою дугою звичайним дротом проходить вигорання легуючих елементів і насичення металів газами.

При використанні самозахисного дроту вигорання компенсується за рахунок підвищеного вмісту легуючих елементів у дроті.

Для зварювання у всіх просторових положеннях на будівельних майданчиках, при спорудженні бурових платформ, барж і для зварювання незворотних стиків труб підприємства змушені були закупити самозахисний порошковий дрот за кордоном за порівняно високими цінами, оскільки вітчизняна промисловість не випускала самозахисний дрот малого діаметра.

Тому в ІЕСЗ ім. Є. О. Патона було створено самозахисний дріт марки ІП-АН60 діаметром 1,2–1,6 мм для зварювання у всіх просторових положеннях конструкцій з дуговою і тисковою металургією сталей. Механічні властивості дроту не поступаються зарубіжним аналогам. Він забезпечує високу міцність і ударну в'язкість зварних з'єднань при низьких температурах. Крім того, він забезпечує відмінне відокремлення шлакової кірки, правильну форму шва, дозволяє проводити зварювання металоконструкцій в умовах монтажних майданчиків у всіх просторових положеннях.

При зварюванні спостерігається незначне розбризкування металу і незначне виділення зерозолі. Дріт пройшов комплексне випробування на підприємствах України.

До легуючих елементів відносяться алюміній, титан, берилій, цирконій, селен, лантан. Вони зв'язують кисень і азот у стійкі неметалеві включення, що майже не впливають на зниження пластичності й в'язкості металу.

Для підвищення стабільності процесу зварювання до дроту додають церій, зонники якого в шві (сліді) підвищують пластичність і в'язкість металу.

Легованим дротом суцільного перерізу за допомогою відкритої дуги можна зварювати метал, покритий окисною, незначним кількістю іржі, слідами масла.

Підготовка кромки металу, складання, техніка зварювання, продуктивність аналогічна зварюванню у вуглекислому газі. Зварювання виконують на постійному струмі прямої та зворотної полярності. Орієнтовні режими наведено в табл. 9.15.

Таблиця 9.15

Орієнтовні режими механізованого зварювання самозахисним дротом суцільного перерізу Св-15ГСТЮЦА

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Положення шва в просторі	Зварювальний струм, А	Напруга дуги, В
> 2	1,0	У всіх положеннях	150–170	23–25
> 4	1,2	Те ж	170–190	23–25
	1,6	Вертикальне, горизонтальне	180–220	23–25
> 6	2,0	Нискоє	250–300	27–29

Недоліком застосування цього способу зварювання є те, що зварний шов має тріщини, він покритий товстою кількістю оксидів, які швидко зчеплені з його поверхнею.

Контрольні запитання та завдання

1. Чи переваги зварювання в захисних газах?
2. Як класифікують з способи дугового зварювання в захисних газах?
3. Які способи підлягають захисного газу вилучу зварювання?
4. Укажіть способи підготовки кромки до зварювання.
5. Як впливає швидкість зварювання на ефективність захисного захисту?
6. Назвіть основні схеми зварювання в захисних газах.
7. Як газ використовується для захисту дуги?
8. Які циліндри єрстводом використовують при дуговому зварюванні в захисних газах?
9. Як перелік мають переваги й недоліки дроту?
10. Що належить до комплексу обладнання та апаратури для дугового зварювання в середовищі захисних газів?
11. Для чого призначений підгрівач, осушувач і вуглекислого газу?
12. Поясніть будову газового редуктора У-30 для вуглекислого газу.
13. Які основні показники належать до параметрів режиму зварювання в захисних газах?
14. Як впливає діаметр дроту на зварний шов?
15. Як впливають на шов сила, різ і швидкість струму?
16. При якій швидкості зварювання у шві можуть виникнути вори?
17. Чи впливає на швидкість провару і швидкість шва кут відхилу електроду?
18. Як проводиться бочок зварювання?
19. Як проводиться закінчення провару зварювання?
20. Назвіть характерні особливості зварювання дугою з графітовим електродом.
21. «Лий» і «правий» способи зварювання. Їх особливості та відмінності.
22. Що дає застосування аргонних сумішей (Ar + CO₂ + O₂)?
23. Які основні вузли автоматів для зварювання в захисних газах?
24. Назвіть основні типи шлангових автоматів.
25. Виберіть режим зварювання вуглекислому газу товщиною 8 мм.
26. Виберіть джерело живлення для автоматизованого ПДГ-165-1 для зварювання у вуглекислому газі.

ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

10.1. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА СУТЬ
ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

Зварювання під флюсом є найновітнішим видом механізованого дугового зварювання металів. Цей спосіб дозволяє замінити тяжку працю зварників ручного дугового зварювання й разом з тим, унаслідок більш високої продуктивності (можливості використання більшого за величиною зварювального струму) і деяких технологічних переваг змінити технологію виробництва в багатьох галузях промисловості.

У суднобудуванні застосування зварювання під флюсом дозволило впровадити секційний спосіб побудови корпусів суден, що значно скоротило терміни їх будови.

Зварювання під флюсом широко застосовується й при будівництві нафтових резервуарів, виробництві сталевих труб великого діаметра, випуску двотаврових балок із широкими плечиками. У промисловості успішно доють поточні лінії з масового випуску зварних конструкцій і виробів, обладнаних автоматизми для зварювання під флюсом. Під флюсом успішно зварюють конструкції з вуглецевих сталей, конструкції й апарати із німокремнієвими сталей, а також нержавіючих, кислотостійких і жаростійких сплавів на нікелевій основі, титану та його сплавів, міді й її сплавів. Широко застосовується зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів по шару флюсу.

Зварювання під шаром флюсу успішно застосовують при виготовленні апаратури, конструкцій і виробів відповідального призначення, які працюють в умовах сильного холоду, під дією високих температур і тиску, в агресивних рідких і газових середовищах.

Автоматичне зварювання під флюсом найчастіше застосовувати при масовому виробництві однотипних металевих виробів, які мають зручні для утримання флюсу з'єднання правильної форми.

Напівавтоматичне зварювання доцільно використовувати не тільки при масовому виробництві однотипних виробів, але й при одиничному виробництві виробів із з'єднаннями значної протяжності та зручними для утримання флюсу.

Під флюсом недоцільно зварювати решітчасті конструкції з великою кількістю коротких з'єднань.

Промислова технологія зварювання під флюсом була розроблена в 1930–1940 рр. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона.

Основи переваги зварювання під шаром флюсу:

– підвищується продуктивність праці (у 6–12 разів) за рахунок застосування високих струмів, збільшення глибини проплавлення, відсутності витрат металу на витар і розбрикування;

– механізація процесу зварювання;

– висока якість зварних швів за рахунок вираженого захисту флюсом зварювальної ванни від повітря;

– покращення умов праці зварників;

Недоліками зварювання під флюсом є:

– можливість зварювання лише в нижньому положенні (нахил до 15°);

– трудність зварювання в монтажних умовах на коротких швах;

– трудність контролю процесу зварювання;

– горіння дуги, формування шва закриті флюсом;

– флюсовий пил і пари флюсу небезпечні для здоров'я зварників;

– для зварювання необхідне складне обладнання;

– потрібне тонке збирання, кромки під зварювання і використання спеціальних прийомів зварювання для запобігання вишколюванню рідкого металу і флюсу та виникнення дефектів шва.

Особливістю процесу автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом є те, що зварна дуга горить не на відкритому повітрі, а під шаром сидуючого зернистого флюсу (рис. 10.1).

Під дією тепла дуги 9 розплакдається основний метал 8, електричний дріт 1 і частина флюсу 5, який безпосередньо прилягає до зони зварювання. Електричний дріт подається вниз у зону зварювання з швидкістю його плавлення, плавиться та переходить у шов у вигляді окремих крапель. Одночасно з цим дріт пересувається вздовж зварних кромки у результаті чого проходить зварювання.

У зоні горіння дуги утворюється порожнина 2, обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу 3. Ця порожнина



Рис. 10.1. Схема горіння зварної дуги під флюсом:

1 — електричний дріт;
2 — порожнина; 3 — оболонка флюсу;
4 — рідкий метал; 5 — флюс;
6 — зварний шов;
7 — основний метал;
8 — дуга

заповнивши парою металу, флюсу чи газом. Їх тиск підтримує флюсове склепіння, що утворюється над зварювальною ванною, та надійно захищає розплавлений метал від шкідливої дії кисню й догугу повітря, а також запобігає розбризкуванню металу.

У порожнині створюється великий тиск газів, які відтісняють частину рідкого металу і в протилежний бік до напрямку зварювання. Після вистигання рідкого металу утворюється зварний шов 7, покритий коркою шлаку 6.

Флюс захищає дугу та зварювальну ванну від шкідливої дії навколишнього середовища, вливає на її метал і перешкоджає розбризкуванню рідкого металу. Розплавлений флюс, маючи низьку теплопровідність, уповільнює процес охолодження шва. При цьому шлакова включення й розчинені гази легко піднімаються на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення.

Перозплавлений флюс відсмоктується із шва пневматичним пристроєм і використовується при наступному зварюванні. Розплавлена та затверділа шлакова кірка легко відокремлюється від металу шва.

10.2. ШВИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Залежно від товщини металу, який зварюється за формою підготовки кромки, зварні шви можуть виконуватися з відбортуванням, без скою кромки, із скоєм однієї або двох кромки, з двома скоями однієї або двох кромки. Скоє кромки може бути прямий, кришоподібний, ступінчастий. За характером виконання шви можуть бути одно- і двобічними.

Стандартом встановлюються такі позначення способів зварювання:

А — автоматичне зварювання під флюсом без застосування підкладок, подушок і підварювального шва;

Аф — автоматичне зварювання під флюсом на флюсовій подушці;

Ам — автоматичне зварювання під флюсом на флюсовидній підкладці;

Ас — автоматичне зварювання під флюсом на сталевій підкладці;

Аш — автоматичне зварювання під флюсом з попереднім накладанням підварювального шва;

Апк — автоматичне зварювання під флюсом з попереднім підварюванням кореня шва;

П — напівавтоматичне зварювання під флюсом без застосування підкладок, подушок і підварювального шва;

Пе — напівавтоматичне зварювання під флюсом на сталевій підкладці.

Пш — напівавтоматичне зварювання під флюсом із попереднім накладанням підварювального шва;

Ппк — напівавтоматичне зварювання під флюсом із попереднім підварюванням кореня шва.

Якщо різниця товщини перешкоджає значення, вказані в табл. 10.1, то при стиковому зварюванні на листі більшої товщини повинен бути зроблений скоє з однієї або двох сторін листа.

Таблиця 10.1

Конструктивні елементи підготовлених кромки і виконаних швів автоматичним і напівавтоматичним зварюванням під флюсом

Вид з'єднання	Форма підготовленої кромки	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Макс. товщина зварюваних деталей, мм
			підготовка кромки зварюваних деталей	шви зварного з'єднання		
Стикове	Без скою кромки	С2			А, П	2-20
Стикове	Із скоєм двох кромки	С17			А, ф, АМ	8-24
Стикове	З кришоподібним скоєм двох кромки	С21			А	24-160
Стикове	З двома симетричними скоями двох кромки	С30			А, П	20-60
Кутове	Із скоєм однієї кромки	К3			Аш, Пш	8-20
Таврові	З двома скоями однієї кромки	Т10			А, П	10-40
Внахлест	Без скою кромки	Н1			А, П	1-20

Позначення: S , S_1 — товщина металу, мм; b — одвір, мм; i — величина протуплення, мм; r , r_1 — радіус шва, мм; ϕ , ϕ_1 — висота посилення шва, мм; K — кут шва, мм; R — радіус закруглення, мм; α — кут скою, град.

10.3. ПІДГОТОВКА КРОМОК ДО ЗВАРЮВАННЯ

Для підготовки кромки залежно від товщини металу використовують механізоване кисневе різання, механічне різання на ножцях, на відрізних верстатах і в штампях на пресах.

Підготовлені кромки перед збиранням повинні бути очищені від іржі, окисли, забруднень від слізів консервації, мастильно-охолоджувальних рідин, лідирок і шлаку. Очищують торцеві кромки деталей і ділянки, які прилягають до них шпиривою 25–30 мм.

Для очищення використовують механічні й хімічні методи, а також газополум'яну обробку.

Під автоматичне і напівавтоматичне зварювання деталі складають старанніше ніж при ручному зварюванні. При збиранні необхідно дотримуватись однакових розмірів зазорів, кутів розробки і притуплення кромки, бо при недотриманні цих параметрів можливе утворення непроварів і провалів.

Деталі при збиранні закріплюють струбцинами, скобами, прихватками довжиною 50–80 мм, які зварюють покритими електродами для сталі даної марки. Перед зварюванням всі прихватки старанно очищають від шлаку і брызг.

Зварювання слід починати на входних, а закінчувати на вихідних технологічних плашках, які після вистигання шва видаляють.

10.4. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ТА АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Залежно від ступеня механізації окремих операцій, дугове зварювання може бути автоматичним і механізованим.

Автоматичним прийнято називати зварювання чи наплавлення з механізмом збудження електричної дуги, підтриманням її стійкого горіння, подачею електрода в зону горіння дуги, переміщенням його вздовж зварних кромки із швидкістю зварювання, захист розплавленого металу від викладної дії кисню і азоту повітря, заварювання кратера в кінці шва і закінчення процесу зварювання.

При напівавтоматичному зварюванні механізована тільки частина операцій, у т.ч. механізована подача дроту та інших зварювальних матеріалів у зону плавлення. Переміщення дуги вздовж лінії зварного з'єднання відбувається ручним способом.

Обладнання, яке використовується при автоматичному зварюванні, називається зварювальним автоматом, а при напівавтоматичному – зварювальним напівавтоматом.

10.5. ШЛАНГОВІ НАПІВАВТОМАТИ

Зварювальні шлангові напівавтомати класифікуються:

– за способом захисту дуги (в середовищі захисного газу, під флюсом, без додаткового захисту, універсальні);

– за типом електродного дроту (суцільного перерізу, порошкового або водночас для дроту суцільного перерізу й для порошкового дроту);

– за способом регулювання швидкості подачі електродного дроту (плавним, ступінчастим або змішаним);

– за компоновкою – однокорпусні (механізм подачі вбудований в корпус джерела живлення) або з відокремленим подавальним механізмом;

– за транспортабельністю (стаціонарні або з переносним подавальним механізмом).

Значного поширення набули напівавтомати для дугового зварювання (розроблені в Інституті електрозварювання ім. Е. О. Патона НАН України).

Заміна великої кількості елементів різноманітних конструкцій обмеженою їх кількістю різко знижує витрати на розробку, виготовлення та експлуатацію зварювального устаткування, значно спрощує ремонт. Крім того, за потреби розібрані модулі можна повторно і багаторазово використовувати при виготовленні чи модернізації іншого устаткування.

Шлангові напівавтомати поєднують універсальність і маневреність ручного зварювання з перевагами автоматичного зварювання під флюсом. Напівавтомат проводить тільки подачу електродного дроту в зону дуги, а дугу вздовж зварного шва переміщує зварник за допомогою електродотримача. Зварювання проводиться на підвищених щільностях струму (до 200 А/мм²), що дозволяє застосовувати електродний дріт діаметром 1,2–2,5 мм. Високі щільності струму підвищують температурний режим зварювання, коефіцієнт плавлення, глибину провару шва.

Внаслідок цього допускається деяке зменшення розробки кромки, що призводить до зменшення витрат електродного дроту на одиницю довжини шва. При цьому не тільки підвищується продуктивність праці, але й значно скорочується витрата електроенергії. На виробництві переважно застосовують шлангові напівавтомати ПШ-125, ПШ-42, ПШ-109 та А-929 (ПШ-118).

Шлангові напівавтомат складається з джерела живлення, шафи керування, касети з електродним дротом, механізмом подачі дроту, гнучкого шланга, який закінчується тримачем. Бухту електродного дроту заправляють у касету тільки після старанного очищення від бруду, масла й іржі. Електродний дріт подається за допомогою електродингуна трифазного струму потужністю 100 Вт, який через

редуктор обертає ведучий валок механізму подачі. Між ведучим і притисним роликом прасується електродний дріт. Переключачи шестерні коробки швидкостей можна змінювати швидкість подачі електродного дроту в межах 78–600 м/год. Дріт подається через шланговий провід (рис. 10.2).

Шланговий провід довжиною 3,5 м і діаметром 27 мм призначений для подачі електродного і дроту по центральному каналу в зону дуги. У шланг вмонтований провід для підведення зварювального дроту 4 і проводу керування й викликання електродвигуна механізму подачі 3; включення та виключення зварювального струму.



Рис. 10.2 Шланговий провід:

1 — електродний дріт; 2 — sleeve-оптравка;
3 — провід керування й викликання електродвигуна механізму подачі; 4 — провід для підведення зварювального дроту;
5 — оболочка

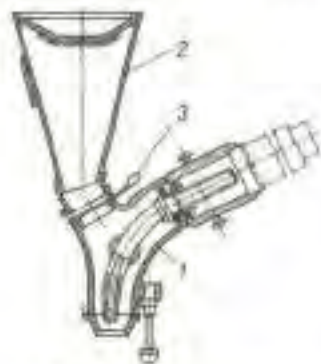


Рис. 10.3 Тримач для зварювання під флюсом:

1 — трубчастий мундштук з рукою;
2 — лійка для флюсу; 3 — пластмасова засліпка

Тримач (рис. 10.3) — це трубчастий мундштук з рукою і спеціальною лійкою для флюсу. Лійка вміщує 1,5 кг флюсу і обладнана пластмасовою засліпкою. Шафа керування обладнана контрольними приладами (амперметр, вольтметр) і пристроями для вимірювання і викликання системи керування. У напівавтоматах ПШ електродвигун для подачі електродного дроту і струм зварювальної мережі включаються при замиканні зварювального дроту на виріб; процес зварювання закінчується при віддаленні тримача від поверхні зварного виробу, тобто обривом зварної дуги.

Шланговий напівавтомат ПШ-500 порівняно з напівавтоматами типу ПШ має дві суттєві особливості. ПШ-500 працює за принципом залежності подачі електродного дроту від напруги дуги і тому електрична схема саморегулювання режиму зварювання подібна до схеми автоматичної головки АДС-1000. Другою особливістю є примусова подача флюсу стиснутим повітрям по шлангу через тримач у зону зварювання. Подаючий механізм вмонтований на рухомому віаку та працює від електродвигуна постійного струму через понижуючий редуктор. Ведучий і притисний ролики подають електродний дріт із касети по шлангу в зону зварювання. Швидкість подачі електродного дроту встановлюється реостатом, увімкненим у мережу

обмотки електродвигуна. На віаку закріпленої бункер-з пристроєм для пневматичної подачі флюсу в зону зварювання. Повітря внострівують від повітряної мережі або компресора. На панелі віаки встановлені вимірні прилади і пристрій керування.

Для підвищення продуктивності зварювання при малих діаметрах зварювального дроту Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблено спосіб шлангового багатоелектродного зварювання. Такий спосіб передбачає подачу в зону дуги при однаковій швидкості одночасно трьох електродних дротів діаметром 1,6–2 мм, що дозволяє застосовувати зварювальний струм до 800–1000 А і тим самим значно підвищити продуктивність зварювання. Важливою перевагою цього способу є можливість легування металу зварного шва за допомогою легованого дроту.

10.6. ЗВАРЮВАЛЬНІ АВТОМАТИ

У автоматах зварювальною головкою називається механізм, який забезпечує підведення зварювального струму до електродного дроту, збуджує електричну дугу, подає дріт у зону її горіння і дупляє процес зварювання. Якщо зварювальна головка встановлена нерухомо, а зварювальний виріб обертається чи пересувається, то її називають підвісною. Якщо ж в конструкції головки є механізм для її переміщення, то вона називається самохідною. Головка з механізмом переміщення може пересуватися по спеціальній колії або безпосередньо по зварному виробу.

Самохідні зварювальні головки, що переміщуються по зварному виробу, називають зварювальним трактором. У напівавтоматах пристрій призначений для підведення електричного струму до електродного дроту, направлення його в зону зварювання, а часом і подачі флюсу. Він називається тримачем або зварювальною головкою. Цей пристрій сполучений з механізмом подачі електродного дроту і джерелом живлення зварювальної дуги гнучким шланговим проводом (кабелем або шлангом). Завдяки цьому він достатньо маневровий, що дозволяє проводити роботи у важкодоступних місцях.

У промисловості застосовують найрізноманітніші зварювальні автомати загального призначення (універсальні) і спеціалізовані, що класифікуються за:

- способом переміщення вздовж лінії зварного з'єднання — несамехідні (підвісні) та самохідні, в т. ч. трактори;
- способом захвату зони дуги — для зварювання під флюсом (Ф), у захисних газах (Г), без зовнішнього захисту (О), по флюсу під флюсом і в захисних газах (ФГ);
- видом електрода — для зварювання плавким і неплавким електродами (без присаджувального металу та з ним);

— видом плавкого електрода — для зварювання дротинним (суцільного перерізу чи порошковим), стрічковим (суцільного перерізу чи порошковим) і штучним (стержнями чи пластинками) електродами;

— числом електродів із загальним підведенням зварювального струму — одно-, дво- та багатоелектродні;

— числом дуг при роздільному живленні електродів зварювальним струмом — одно-, дво- та багатодугові;

— технічним призначенням — для зварювання і наплавлення;

— родом застосованого струму — для зварювання постійним струмом, змінним струмом, змінним і постійним струмом;

— способом подачі електродного дроту — із подачею, залежною і незалежною від напруги на дузі;

— способом регулювання швидкості зварювання (для самохідних апаратів) і подачі електродного дроту — з плавним, плавно-ступінчастим і ступінчастим регулюванням;

— способом формування металу шва: для зварювання з вільним формуванням (як правило, в нижньому положенні) та з примусовим (в основному на вертикальній, похилій та криволінійній поверхнях).

До складу зварювальних і наплавальних автоматів входять мундштук чи напильник (зварювальний інструмент), механізм подачі електродного чи присаджувального матеріалу, механізм переміщення вздовж лінії з'єднання, регулювальних, допоміжних і коректувальних переміщень, пристрої для розміщення присаджувального чи електродного матеріалу, флюсова апаратура, газова апаратура, система керування; джерела зварювального струму; засоби техніки безпеки.

Важливою умовою забезпечення нормального стійкого процесу автоматичного зварювання є рівність швидкості подачі електродного дроту і швидкості його плавлення. У процесі зварювання ця умова порушується різними факторами: зміною напруги в мережі, нечіткою роботою подавочного механізму, нерівностями поверхонь зварних кромки, при яких змінюється дуговий проміжок. Для того, щоб процес зварювання протікав стійко, а довжина дуги зберігалася постійною, застосовують автомати двох типів: із змінною швидкістю подачі електродного дроту, яка залежить від величини дугового проміжку, та з постійною подачею електродного дроту. Автомати зі змінною швидкістю подачі електродного дроту мають складнішу електричну схему і тому їх застосовують обмежено (при низьких напругах, малих зварювальних струмах).

У зварювальному виробництві частіше застосовують автомати із постійною швидкістю подачі електродного дроту. Вони працюють за схемою, запропонованою в 1942 р. В. І. Дятловим (Інститут електрозварювання ім. Е. О. Патона). Електродвигун, який через редуктор і ролики забезпечує подачу електродного дроту, живиться безпосе-

редньо від мережі. Тому швидкість обертання електродвигуна буде постійною, незалежно від довжини (відповідно, й напруги) дуги.

Саморегулювання здійснюється наступним чином. Якщо в процесі зварювання довжина дуги зменшиться (наприклад, через нерівності на поверхні зварних кромки), то напруга на дузі знизиться. Оскільки змінюється характеристика джерела живлення дуги плавуча, то зменшення напруги дуги призведе до збільшення зварювального струму і тим самим — до збільшення швидкості плавлення електродного дроту (швидкість плавлення дроту майже пропорційна струму зварювання). Збільшення швидкості плавлення при постійній швидкості його подачі призведе до відокремлення дуги, тобто до відновлення встановленого режиму зварювання. Якщо ж довжина дуги збільшиться, то напруга зросте відповідно до зовнішньої характеристики джерела струму; зварювальний струм знизиться. Відповідно й швидкість плавлення електродного дроту зменшиться, що при постійній швидкості подачі призведе до скорочення дугового проміжку. Процес саморегулювання протікає нормально при живленні дуги постійним струмом. При змінному струмі для стійкої роботи автомата коливання напруги в мережі не повинні перевищувати 5–8%.

10.6.1. Автоматичні підвісіні головки

До складу автомата АД-202 (рис. 10.4) входить механізм подачі з притисним і правильним механізмом, мундштук, слідкуючий датчик, елудорез горизонтального та вертикального переміщення для корегування положення з двигуном приводом постійного струму, а також бункер для флюсу з пневмоквантом.

Відсутність жорсткого зв'язку між елементами автомата забезпечує невелику масу головки і дозволяє розміщувати ці елементи на відстані від зони зварювання АД-202 зручній в експлуатації. Система керування автомата дозволяє здійснювати програмування збудження дуги та зварювання кратера, плавне регулювання швидкості подачі, підключення до системи керування інших верстатів і ліній, а також до зовнішнього програмувального пристрою.

Автомат АД-202 використовується для комплектації верстатів, кювет і лоткових ліній для зварювання кутових, таврових і стічкових швів із розчищальними кромками.

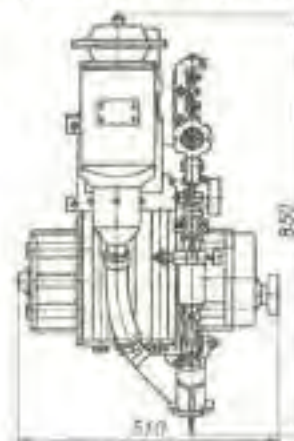


Рис. 10.4. Автомат АД-202

Зварювальний трактор ТС-17 М (рис. 10.5) призначений для нагрітлення і монтажу різних будівельних конструкцій (ферм, мачт, балок), для зварювання під флюсом зовнішніх і внутрішніх швів, а також для зварювання труб і резервуарів діаметром 1200 мм. Ним можна також зварювати прямолінійні, колоті й етикетні шви напустаєваних і таврових з'єднань. Трактор має один електродвигун трифазного струму, який приводить у рух механізм подачі електродного дроту й механізм пересування трактора вздовж зварювального шва. Підсилюючий механізм складається з понижуючого редуктора та двох роликів (ведучого й притискового), між якими протягується електродний дріт. Механізм пересування трактора складається з редуктора і двох ведучих бегунів, вал яких з'єднаний з редуктором фрикційною муфтою. Наявність змінних шестерень дозволяє в широких межах змінювати швидкість подачі дроту й швидкість пересування трактора відповідно до режиму зварювання. В комплекті трактора є два струмозвідні мундштуки. Для електродного дроту діаметром 1,6–2 мм застосовують трубчатий мундштук із бронзовим наконечником, який забезпечує стійкий електричний контакт з електродним дротом. Для електродного дроту з більшим діаметром застосовують мундштук із двома бронзовими контактами, між якими переміщується дріт. Випрямлення електродного дроту здійснюється спеціальним правильним механізмом, який складається з трьох роликів.

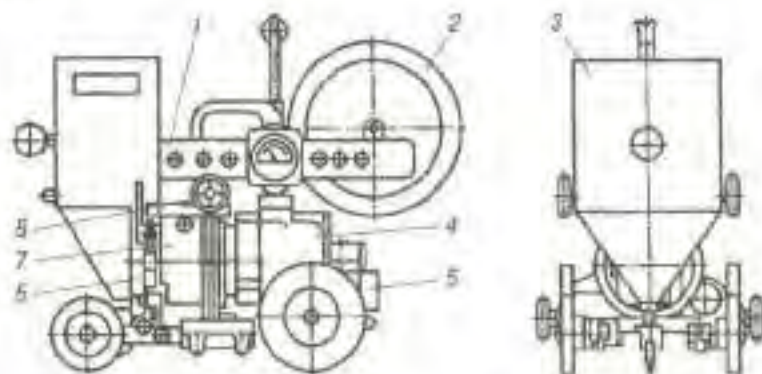


Рис. 10.5. Зварювальний трактор ТС-17 М.

1 — пульт керування; 2 — касета для електродного дроту; 3 — бункер для флюсу; 4 — електродвигун; 5 — шліфувальний механізм; 6 — мундштук; 7 — зварювальна головка; 8 — коригувальний механізм.

Зварювальний трактор оснащено двома бункерами для флюсу: один бункер використовують для зварювання вертикальним електродом, а другий — для зварювання похилим електродом. Товщину флюсу встановлюють вертикальним переміщенням патрубку, на

якому флюс подається в розробку кромки. Якщо стиковий шов зварюють без розробки кромки, то трактор направляють уручну. Якщо зварюють шов з розробкою кромки, то на одну із штанг підвіски встановлюють копір, який складається з двох послідовно розташованих роликів. Останній при зварюванні котиться по розробці кромки і тим самим направляють трактор уздовж шва. При зварюванні шва «у човник» копірувальним елементом служить закріплений на штаві ролик, який котиться по куту зварного шва. Трактор має трикопийний пульт керування. Крім того є додатковий пульт керування, який використовується при зварюванні швів на циліндричних виробах (котли, цистерни, резервуари) для керування електродвигуном стенда, на якому обертається зварний виріб.

10.6.2. Зварювальний автомат АДФ-1250

АДФ-1250 призначений для зварювання плавким електродом з'єднань із вуглецевих сталей під флюсом устик з розробкою кромки і без розробки, кутових швів похилим електродом, а також напустаєваних швів. Останні можуть бути прямолінійними й кільцевими. У процесі роботи трактор переміщується по виробу або по вкладеній на ньому напрямній колії.

Зварювальний трактор комплектується джерелом живлення ВДУ-1250.

Зварювальний трактор має:

- плавне регулювання швидкості подачі електродного дроту (зварювального струму);
- плавне регулювання швидкості переміщення візка (швидкості зварювання);
- дистанційне включення і плавне регулювання зварювальної шпурти;
- регулювання зварювальної головки:
 - а) навколо вертикальної осі несучої колонки на кут 90° з фіксацією положення;
 - б) навколо своєї позаддовжньої осі на кут 45° з фіксацією положення;
 - в) по вертикалі і горизонталі на 50 мм від середнього положення за допомогою двох гвинтових суппортів;
- переміщення зварювальної головки в комплекті з блоком керування, бункером і касетою вздовж несучої колонки з фіксацією положення;
- конструкцію бункера, яка дозволяє візуально контролювати в ньому рівень флюсу;
- систему відмоєтування залишків флюсу в бункер після зварювання.

Технічні характеристики автомата АДФ-1250:

- номінальний зварювальний струм при ПУ = 100%, А – 1250;
- границі регулювання зварювального струму, А – 250–1250;
- діаметр електродного дроту, мм – 3–6;
- швидкість подачі електродного дроту, м/год – 20–135;
- швидкість зварювання, м/год – 15–190;
- відстань між осями коліс, мм – 37;
- радіус кола, мм – 290;
- вмістність касети для дроту, кг – 30;
- вмістність бункера для флюсу, кг – 10;
- габаритні розміри, мм:
 - довжина – 1350;
 - ширина – 685;
 - висота – 915;
- маса трактора без електродного дроту, кг – не більше 145

10.7. РЕЖИМ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

До режимів автоматичного й напівавтоматичного зварювання під флюсом відносяться: сила зварювального струму, діаметр електродного дроту, напруга дуги, рід струму та полярність, швидкість зварювання, швидкість подачі електродного дроту, виліт електрода, нахил електрода вздовж і поперек шва, нахил виробу, марка флюсу та його грануляція, розробка кромок, величина зазору, а також при необхідності, попередній підігрів перед зварюванням і термічна обробка після зварювання.

10.7.1. Сила зварювального струму

При збільшенні зварювального струму зростає тиск дуги, внаслідок чого рідкий метал зварювальної ванни більш інтенсивно витісняється з-під електрода і дуга занурюється глибше основного металу. При цьому глибина проплавлення основного металу збільшується, певною мірою зростає ширина шва, а коефіцієнт форми шва зменшується. Основні розміри шва в поперечному перерізі зображено на рис. 10.6.

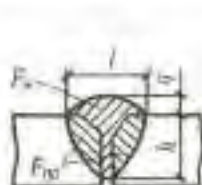


Рис. 10.6. Основні розміри шва в поперечному перерізі:
 l — ширина; y — висота посилення; A — глибина проплавлення; F_1 і F_2 — площі шва, утворені за рахунок розплавлення електродного металу і проплавлення основного металу.

Для забезпечення стійкого процесу зварювання й підтримання визначеної довжини дуги одночасно із збільшенням зварювального струму необхідно підвищити швидкість подачі електродного дроту, а це спричиняє збільшення висоти посилення шва.

При підвищенні зварювального струму при інших незмінних умовах зменшується кількість розплавленого флюсу.

Залежність глибини проплавлення від зварювального струму виражається формулою:

$$h = K \cdot I_m$$

де K — коефіцієнт пропорційності, який залежить від роду струму і його полярності, діаметра електрода і складу флюсу.

Встановлено що при зварюванні під флюсом постійним струмом зворотної полярності глибина проплавлення менша ніж при прямій полярності (табл. 10.2).

Таблиця 10.2

Значення коефіцієнта пропорційності K залежно від марки флюсу, діаметра електрода, роду струму й полярності

Флюс	Рід струму й полярність	Діаметр електродного дроту, мм	Значення K , мм/100А	
			зварювання швів і встав з розробленими кромками	наплавлення і зварювання швів без розробки кромок
АН-348А	Змінний	5	1,5	1,1
АН-348А	Змінний	2	2,0	1,0
АН-348	Постійний зворотної полярності	5	1,75	1,1
АН-348	Постійний прямої полярності	5	1,25	1,0
ОСЦ-45	Змінний	5	1,55	1,15

При збільшенні діаметра дроту при незмінному струмі (тобто із зменшенням щільності струму) посилюється блукання активної плями по перерізу кінця електрода і по поверхні зварювальної ванни, внаслідок чого ширина шва зростає, а глибина проплавлення зменшується (табл. 10.3).

Таблиця 10.3

Вплив щільності струму (діаметр електрода) на форму шва

Показники	Значення показників при зварювальному струмі, А							
	700–750			1000–1100			1300–1400	
Діаметр електрода, мм	6	5	4	6	5	4	6	5
Середня щільність струму, А/мм ²	26	36	58	38	52	84	48	68
Глибина проплавлення, мм	7,0	8,5	11,0	10,5	12,0	16,5	17,5	19,0
Ширина шва, мм	22	21	19	26	24	22	27	24
Коефіцієнт форми шва	3,1	2,5	1,7	2,5	2,0	1,3	1,5	1,3

Зменшення діаметра дроту при незмінному струмі (збільшення щільності струму) призводить до зворотного явища – зосередження активної плазми на осі електрода і зменшення бокування дуги поверхнею зварювальної ванни. Внаслідок цього глибина проплавлення зростає, а ширина шва зменшується.

10.6.3. Напряга дуги

Із усіх параметрів механізованих способів зварювання на ширину шва найбільше впливає напряга дуги.

Із підвищенням напряги дуги збільшується її довжина й рухливість. При цьому зростає частка тепла, що йде на плавлення поверхні основного металу та флюсу. Це призводить до значного збільшення ширини шва, причому глибина провару зменшується, що особливо важливо при зварюванні тонкого металу.

Із підвищенням напряги дуги збільшення ширини шва залежить також і від роду струму. При однакових значеннях напряги дуги ширина шва на постійному струмі, а особливо при зворотній полярності, значно більше ширини шва, звареного на змінному струмі (табл. 10.4, 10.5).

Таблиця 10.4

Вплив напряги дуги на ширину проплавлення при зварюванні змінним струмом

Напряга дуги, В	Ширина проплавлення, мм
25	15
40	16
43	22

Примітка: $I_{зв} = 600-840A$; $d_{др} = 5$ мм; $V_{зв} = 24$ м/год; флюс АН-3

Таблиця 10.5

Вплив напряги дуги на ширину проплавлення при зварюванні постійним струмом

Напряга дуги, В	Ширина проплавлення (мм) при зварюванні струмом	
	прямої полярності	зворотної полярності
30-32	21	22
40-42	25	28
55-55	25	33

Примітка: $I_{зв} = 350A$; $V_{зв} = 24$ м/год; $d_{др} = 5$ мм; флюс АН-348

Зварювальний струм і зварюга дуга практично впливають на форму шва. Тому для одержання шва оптимальної форми збільшення зварювального струму при збільшеній товщині зварюваного металу повинне обов'язково супроводжуватися відповідним підвищенням напряги дуги. На практиці напряга дуги встановлюється залежно від величини зварювального струму і діаметра електрода (табл. 10.6).

Таблиця 10.6

Залежність напряги дуги від зварювального струму при зварюванні під флюсом

Струм, А	Напряга дуги (В) при діаметрі дроту, мм	
	2 (флюс АН-348А)	5 (флюс АН-348А і ОСЦ-45)
180-300	32-34	-
300-400	32-35	-
500-600	36-40	-
600-700	-	38-40
700-850	-	40-43
850-1000	-	40-43
1000-1200	-	40-44

10.6.4. Рід і полярність струму

Полярність постійного струму неоднаково впливає на глибину проплавлення, що пояснюється різною кількістю тепла, що виділяється на катоді (мінус) і аноді (плюс). На аноді тепло віддається в результаті бомбардування його потоком електронів, а на катоді – в результаті бомбардування позитивно зарядженими іонами. При зварюванні на повітрі ручним дуговим зварюванням більше тепла виділяється на аноді, оскільки він бомбардується електронами. При зварюванні майже під усіма флюсами в результаті зростання кінетичної енергії позитивно заряджених іонів, які бомбардують катод, більше тепла буде виділятися на катоді.

Виходячи з цього, при автоматичному і напівавтоматичному зварюванні під флюсом постійним струмом, як правило, застосовується зворотня полярність, при якій в основному розплавляється основний метал.

10.6.5. Швидкість зварювання

Зміна швидкості зварювання при незмінному струмі й напрязі впливає на глибину та ширину проплавлення, а також на штовху перерізного перерізу шва внаслідок зміни положення стовпа дуги, товщини шару рідкого металу під дугою і поточної енергії зварювання.

Із збільшенням швидкості зварювання стовп дуги віддаляється відк, протилежній напрямку зварювання. При цьому з-під дуги втілюється більше рідкого металу і товщина його шару зменшується. Разом з тим зменшується потужність енергії зварювання, що призводить до скорочення площі перерізу шва.

Рідкий метал зварної ванни під дугою є ніби подушкою між дугою і основою ванни (зварювальним металом). Він змінює напрям дії сили дуги й збільшеною представляє основний метал. Чим товстіший шар рідкого металу під дугою, тим менша глибина проплавлення. Тому при збільшенні швидкості зварювання до 40–50 м/год спостерігається деяке збільшення глибини проплавлення, хоч потужна енергія зварювання і площа перерізу шва зменшуються. При подальшому збільшенні швидкості зварювання вплив зменшення потужної енергії стає переважаючим і в результаті цього глибина провару і площа перерізу шва зменшуються (рис. 10.7).

Збільшення швидкості зварювання супроводжується зменшенням ширини провару внаслідок зменшення потужної енергії зварювання й відхилення стовпа дуги. При цьому зменшується протрів зварних кромки і рідкого металу зварної ванни. При зварюванні із швидкістю понад 70–80 м/год ширина проплавлення основного металу буде більшою ширини затверділого валка шва, а по обидві його боки утворюються не заповнені металом канавки.

Швидкість зварювання, при якій забезпечується лікве формування шва, визначають за формулою:

$$V_{\text{лік}} = \frac{2500}{I_{\text{лік}}}$$

де $V_{\text{лік}}$ — швидкість зварювання м/год; $I_{\text{лік}}$ — зварювальний струм, А.

При необхідності вести зварювання на великих швидкостях застосовують спеціальні методи (авидугове зварювання, зварювання грифаною дугою та ін.).

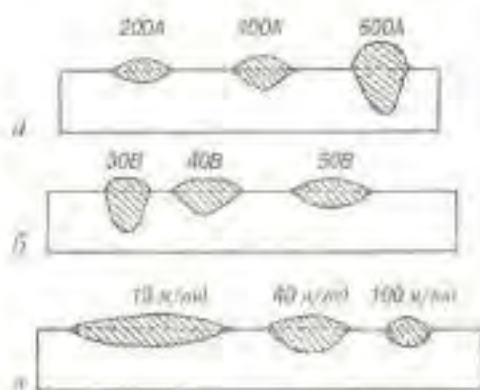


Рис. 10.7. Вплив сили зварювального струму (а), напруги дуги (б) і швидкості зварювання (в) на геометричні розміри і форму шва

10.6.6. Швидкість подачі електродного дроту

Цей параметр режиму зварювання тісно пов'язаний із силою зварювального струму і напругою дуги. Для стійкого процесу зварювання швидкість подачі електродного дроту повинна бути рівною швидкості його плавлення. При недостатній швидкості подачі електродного дроту можливі періодичні обриви дуги, при дуже великій швидкості подачі проходять часті короткі замкнення електрода на зварну ванну. Це спричинює непровари та погане формування шва.

10.6.7. Виліт електрода

Із збільшенням вильоту електрода зростає інтенсивність його попереднього підтриву зварювальним струмом, який проходить через нього. Електрод плавиться швидше, а основний метал затоплюється порівняно холодним. Крім того збільшується довжина дуги, що призводить до зменшення глибини провару й до деякого збільшення ширини шва.

10.6.8. Нахил електрода вдовж шва

Звичайно зварювання виконується вертикальним електродом (рис. 10.8 а). В окремих випадках зварювання може проводитися кутом уперед і кутом назад.

При зварюванні кутом уперед рідкий метал підтікає під дугу. При цьому товщина прошарку рідкого металу збільшується, а глибина провару зменшується. Також зменшується висота посилення шва, але помітно зростає його ширина. Це дозволяє використовувати зварювання кутом уперед. При зварюванні кутом уперед краще проплавляються кромки, що дає можливість проводити зварювання на підвищених швидкостях.

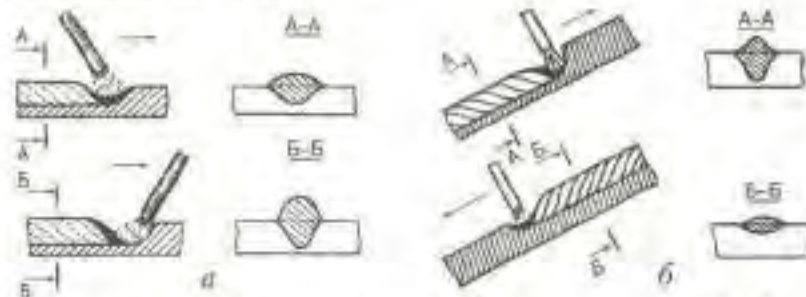


Рис. 10.8. Вплив кута нахилу електрода (а) і кута нахилу виробу (б) на геометричні розміри і форму шва

При зварюванні кутом навал рідкий метал тиском газів витісняється з-під дуги. Товщина проварку рідкого металу від неї зменшується і глибина провару збільшується. Збільшується також висота посилення шва, але значно зменшується його шарнина. Внаслідок глибокого провару і недостатнього прогріву зварних кромок можливе послаблення основного металу з наплавленням і утворення пористості шва. Тому зварювання кутом навал застосовують обмежено. В основному його застосовують при зварюванні великих товщин на великих швицях (наприклад, при дводуговому зварюванні або зварюванні кільцевих швів невеликого діаметра).

10.6.9. Нахил виробу

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання під флюсом проводиться при горизонтальному положенні виробу (рис. 10.8 б). Можливе зварювання знизу вгору (на підйом) або зверху вниз (на спуск).

При зварюванні на підйом рідкий метал під дією власної маси витікає з-під дуги, проварок рідкого металу зменшується, що призводить до збільшення глибини провару і зменшення ширини шва. При куті нахилу понад $6-8^\circ$ з двох боків шва можуть утворитися підризи. При цьому зовнішній вигляд шва погіршується.

При зварюванні на спуск розплавлений метал підтікає під дугу, що призводить до збільшення товщини проварку рідкого металу. При цьому глибина провару зменшується. Зварювання на спуск дозволяє збільшити швидкість зварювання при збісному формуванні шва. Невелика глибина провару дозволяє застосовувати цей спосіб при зварюванні тонкого металу. При куті нахилу понад $15-20^\circ$ відбувається сильне розіжання електродного металу, який налігся на поверхню зварного виробу, але не стікається з ним.

10.6.10. Марка флюсу та його грануляція

Різні флюси мають неоднакові стабілізуючі властивості. Із підвищенням стабілізуючих властивостей флюсу збільшується довжина дуги й напрута на ній. При цьому зростає ширина шва і зменшується глибина провару. Чим крупніший флюс, тим менша його об'ємна (масна) маса. Флюси з малою об'ємною масою (крупнозернисті, скло- та пемзолідні) здійснюють менший тиск на газопульорозміну зони зварювання, що сприяє одержанню більш широкого шва з меншою глибиною провару.

Застосування дрібнозернистих флюсів з великою об'ємною масою призводить до збільшення глибини провару і зменшення ширини шва.

10.6.11. Вплив форми розробки, величини зазору, товщини і температури зварного металу на форму шва

Зазор і форма розробки кромок майже не впливають на форму окреслення та форму шва, але впливають на співвідношення частин електродного та основного металу в шві. Чим більший зазор або розробка кромок тим менша частка основного металу в шві.

Електродний метал при наплавленні утворює посилення. При зварюванні з'єднання із зазором або розробкою електродний метал частково або повністю розташовується в них. Залежно від співвідношення перерізу зазору і наплавленого металу, шов може бути з посиленням, без посилення або послаблений. Глибина проплавлення збільшується настільки, наскільки зростає послаблення шва. Якщо ширина зрізу кромок не перевищує ширини проплавлення при наплавленні валика на рівну поверхню, то збільшення довжини розробки може тільки викликати непровар у корені шва.

Вплив зазору і розробки кромок на форму шва. Якщо ширина розробки значно перевищує ширину наплавленого валика, то глибина проплавлення шва збільшується настільки, наскільки зростає послаблення шва (рис. 10.9). Оскільки товщина автоматичного шва не залежить від величини зазору і величини розробки кромок, кутаний шов таврового з'єднання можна порівняти до стикового шва, що виконується в розробку кромок із кутом розкриття 90° .

Товщина й температура зварного металу не впливають на глибину проплавлення, якщо вона не перевищує приблизно $3/4$ товщини зварного металу. В той же час товщина й температура металу впливають на зовнішню форму валика. При зварюванні нагрітого металу одержують широкій і низький шов, при зварюванні на морозі — значно вузький і вищий. Якщо глибина провару становить приблизно $3/4$ товщини зварного металу, то навіть невелике місцеве зменшення його товщини може призвести до різкого збільшення глибини провару та провалу. Аналогічно може впливати й підвищення температури металу, що зварюється, якщо провар дорівнює $3/4$ його товщини.

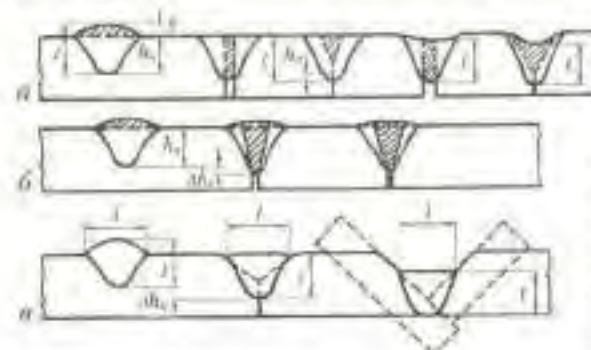


Рис. 10.9. Вплив зазору і розробки кромок на форму шва: g — вплив зазору і розробки; b — вплив глибини розробки; g — вплив ширини розробки; l — ширина шва; h — висота підсилення; h — глибина проплавлення; t — товщина шва ($t = b + g$)

10.8. ТЕХНІКА АВТОМАТИЧНОГО ТА НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

При ручному зварюванні можна в досить широких межах регулювати ширину шва і глибину провару, змінюючи режим зварювання. Це досягається коливаннями і переміщеннями електрода в процесі зварювання. При напівавтоматичному зварюванні під флюсом така можливість регулювання форми шва обмежена, а при автоматичному зварюванні — дуже обмежена.

При автоматичному зварюванні під флюсом форма шва регулюється двома способами: використанням коливального руху штипера шва з різною амплітудою й частотою, що дозволяє в широких межах змінювати форму та розмір шва; зварювання спареним електродом, коли електроди розміщені внапір напрямку зварювання. При їх послідовному розміщенні глибина проплавлення, навпаки, зростає.

Одержання якісного шва при однобічному зварюванні з формуванням зворотного валика є складним завданням, тому що проплавлення металу на всю товщину може призвести до його витікання із зварної ванни та утворення провалу. Щоб уникнути цього, застосовують спеціальні способи. При двобічному зварюванні завдання стає легшим тому, що глибина провару в кожному шві менша товщини металу і розплавлений метал від витікання із зварної ванни утримується нерозплавленою частиною кромок. Але при цьому необхідно кантувати виріб для зварювання другого шва, що не завжди можливо.

При автоматичному зварюванні стикових з'єднань «на вазі» майже неможливо одержати шов із проваром на всій довжині внаслідок витікання в зазор між кромками розплавленого металу та флюсу з утворенням провалів. Щоб запобігти цьому, використовують різні прийоми, що сприяють формуванню кореня шва. Для утримання зварювальної ванни застосовують такі технологічні прийоми: зварювання на флюсовій подушці, міднофлюсовій підкладці, на тимчасових сталевих підкладках і таких, що залишаються. Крім того, застосовують ручне підварювання кореня шва, зварювання «на вазі» при зазорі, меншому 1 мм (рис. 10.10).

Зварювання однобічних швів можна виконувати як попереднім ручним або автоматичним підварюванням. Однобічне зварювання на сталевій підкладці, що залишається, застосовується, коли воно допускається за експлуатаційними умовами. Для одношарових швів товщина підкладки становить 30–40% товщини металу, для багатшарових швів дорівнюватиме товщині першого шару. При використанні для зварювання змінних мідних підкладок якість шва залежить від надійності підтискання до швів кромок. При зазорі вище 0,5 мм розплавлений метал може витікати з нього, що призво-

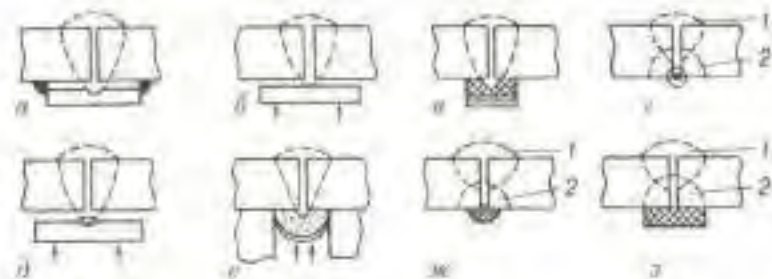


Рис. 10.10. Схеми пристроїв для утримування зварювальної ванни та шлаку й формування зворотного валика при зварюванні під флюсом:

а — підкладка, що залишається; б — тимчасова підкладка; в — ручна стрічка; г — ручна підкладка; д — міднофлюсова підкладка; е — флюсова подушка; ж — залізоулавнювач зазору вогнистим матеріалом; з — азбестова підкладка; и—к, л, м — однобічні шви; н, о, п — двобічні шви; р — перший шов; с — другий шов

дить до утворення дефектів у шві. Разом з тим складно покласти кромки довгого стику вздовж формуючої канавки нерухомої мідної підкладки.

Для поліпшення формування кореня шва в збавлену глибину формуючої канавки в мідній підкладці можна застосувати флюс — так виконують зварювання на міднофлюсовій підкладці. Однобічне зварювання на флюсовій подушці при підляганні підтисканні флюсу забезпечує повне проварювання кромок і добре формування кореня шва при меншій товщині складання кромок завтовшки 2 мм і вище. Флюс під стиком підтискується повітрям, яке подається в шланг, а при зварюванні кільцевих швів — спеціальною ступницею стрічкою. При протіканні флюсу зварювальні листи від перекосу утримують спеціальними притисками або магнітами на спеціальних стендах.

Шви застосовують підкладки з термостійких, синтетичних і керамічних стрічок одноразового користування.

В однобічних швах не завжди забезпечується добре формування кореня шва. Тому у відомдальних конструкціях використовують зварювання з обох боків. При цьому перші валики в коренях швів мають перекривати один одного на 2–5 мм. Щоб запобігти протіканню розплавленого металу в зазор між кромками крайні результати отримують при попередньому підварюванні, яке часто служить як прихлещувальний шов при складанні. Після кантування виробу при першому основному проході підварювальний шов треба повністю переварювати.

Залежно від площі поперечного перерізу і положення зварювання кутові шви можуть зварюватися зі скошенням чи без скошення кромок, однопрохідними і багатпрохідними швами. Зварювання можна виконувати (рис. 10.11 а) в положенні «у човник» або похилим електродом.

При зварюванні «у човник» можна одержати одношаровий шов або кожен шов у багатшаровому шві більшого перерізу, ніж при зварюванні похилим електродом, де можливою підріза на вертикальній стінці або на верхньому листі. Але зварювання «в човник» ведеться практично «на вазі» тому, що застосування мідних підкладок і флюсових подушок обмежується. Тому зазор між деталями не повинен перевищувати 1,5 мм. При зварюванні похилим електродом зазор може бути підвищений до 3 мм. При збільшених зазорах виконується ручне або механізоване підварювання швом, який переплавляється при зварюванні основного шва. При положенні «у човник» техніка зварювання не відрізняється від техніки зварювання стикових швів із розробкою кромки; за один прохід можна зварити шов з катетом до 14 мм.

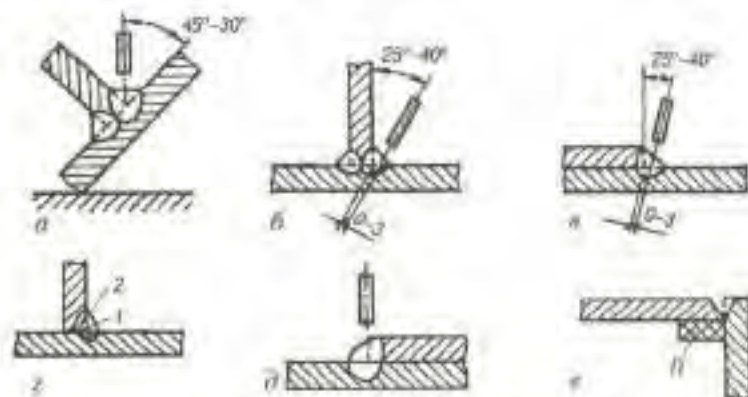


Рис. 10.11. Схема зварювання кутових швів:

а, д — зварювання вертикальним електродом таарового з'єднання «в човник» і напусткового з'єднання; б, в — зварювання похилим електродом таарового і напусткового з'єднання; г — послідовність (1, 2) зварювання багатпрохідних швів; е — встановлення підкладки П у кутовому з'єднанні

При зварюванні похилим електродом утворення підрізу обмежує можливість одержання шва з катетом понад 6 мм. У цьому випадку особливо важливо глибоко направляти електрод у розробку кромки. Для забезпечення провару при різних товщинах зварювальних елементів зварювання може виконуватися в несиметричний «човник» або несиметрично нахиленим електродом. Для запобігання підрізу при зварюванні нахиленим електродом його зміщують (рис. 10.11 б, в). Послідовність зварювання багатпрохідних швів вказано на рис. 10.11 г. У напусткових з'єднаннях при товщині верхнього листа до 8 мм зварювання можна вести вертикальним електродом з опаленням верхньої кромки (рис. 10.11 д). Кутові з'єднання можна зварювати вертикальним електродом з мідною підкладкою (рис. 10.11 е).

10.9. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛІВАВТОМАТІВ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для забезпечення безперебійної і довготривалої роботи паливавтоматів, а також для своєчасної ліквідації дрібних несправностей при їх експлуатації необхідно проводити контрольну-профілактичну роботу.

Кожного дня перед роботою необхідно:

- перевірити стан наконечників мундштука. При зношенні, для випливає порушення контакту електрода із струмопроводом, наконечник слід замінити;
- перевірити місце кріплення мундштука до шлангового кабелю. Мундштук повинен бути щільно затиснутий на наконечник кабелю і мати сталій електричний контакт;
- оглянути змінне сопло зварювального пальника. При забрудненні сопла брызками його необхідно зачистити. Пальник повинен бути щільно затиснутий і не прокручуватися;
- перевірити стан контактів реле і контактів у місцях підключення проводів і у випадку підгоряння зачистити їх;
- оглянути ізоляцію з'єднувальних проводів, при наявності пошкодження відокремити ізоляцію;
- перевірити роботу паливавтомата пробним включенням пускової кнопки;
- у паливавтоматів для зварювання в захисних газів перевіряють усі з'єднання газопровідної мережі. Вони повинні бути щільними та не пропускати газу.

Один раз на тиждень потрібно:

- перевірити подавчий ролік. При пробуксовуванні дроту внаслідок спрацювання його необхідно замінити;
- перевірити рівень зв'язки в релюкторі механізму поджен й при необхідності долити її;
- очистити від бруду канал спіралі по якому подається електродний дріт, використовуючи при цьому один із наступних способів.
 1. Продувати канал стиснутим повітрям високого тиску. Спочатку повітря вдувають з боку тримача, а потім з іншого кінця. При відсутності стиснутого повітря можна використовувати вибухобезпечний газ. Категорично забороняється використовувати для продування кисень;
 2. Очищення за допомогою дроту довжиною понад 6 м, пропущеного через шланг і протягнутого між двома стійками. Шланг пересувається по дроту вперед і назад з одночасним повертанням. Після такого очищення достатньо продути шланг стиснутим повітрям низького тиску;
 3. Цей спосіб застосовується, коли канал шланга сильно забруднений і описані вище способи не ефективні. В цьому випадку и

канди зазнають 25–30 мл чистого авіаційного бензину і через 3–5 хв старанно продувають його стиснутим повітрям до повного видалення бензину та його парів.

Один раз на місяць слід перевірити стан колектора й шіток електродвигуна механізму подачі; виявлені несправності усувають.

Один раз на рік рекомендується промити і змастити корпус, зубчаті колеса й шарикові підшипники редуктора приводу механізму подачі.

Неполадки зварювальних напівавтоматів, причини та способи їх ліквідації наведені в таблиці 10.7.

Таблиця 10.7

Несправності в роботі напівавтоматів, їх причини та способи усунення

Несправності, зовнішні прояви	Можливі причини	Способи усунення
При включенні пускової кнопки схема спрацює, але дуга не заіскриться	Немає контакту в зварювальному дроті	Перевірити надійність контактів, зачистити й підтягнути їх. Збити кірку флюсу, яка застигла на кінці електродного дроту або відкусити цей кінець пусчачами
При включенні пускової кнопки не подається електродний дріт	Перегоріли заборонники. Поганий контакт у пусковій кнопці Обрив однієї з фаз у колі електродвигуна (електродвигуна горить)	Замінити новим Зачистити контакт Відключити штеф керування від мережі та ліквідувати обрив
У процесі зварювання спостерігається нерівномірність подачі електродного дроту при нормальній роботі двигуна подавального механізму	Слабкий стиск електродного дроту верхніми притискними роликками Велике спрощення ведучих роликків Займання електродного дроту в наконечнику зварювального пальника	Відрегулювати тиск притискних роликків згідно зусиль спіральних пружин Поміняти місцями пошкоджені притискні роликки або замінити новими Прочистити наконечник, а у випадку його підгорання або надмірного спрощення замінити новим
Корпус зварювального пальника заходить під напругою	Багато дрібних тріщин зварювального дологого кабелю	Розгашувати пошкоджені кабель так, щоб згнив бував циліндром
Корпус зварювального пальника заходить під напругою	Пробита ізоляція між корпусом пальника і контактним наконечником Між контактним наконечником і корпусом пальника потрапили металеві предмети	Перевірити стан ізоляції й відновити її Видалити металеві предмети

Заключення таблиці 10.7

Несправності, зовнішні прояви	Можливі причини	Способи усунення
У процесі зварювання електродний дріт утворює петлю яка подається роликками і вхідним штуцером дологого кабелю	Велика віддаль між подавними роликками та вхідним штуцером дологого кабелю	Поближати вхідний штуцер дологого кабелю до подаючих роликків на відстань 1–2 мм
При нормальному дивуванні подвій електродного дроту періодично обривається дуга	Мала швидкість подачі електродного дроту Великий аварійний струм	Збільшити швидкість подачі електродного дроту Збільшити силу зварювального струму
Періодичне промерзання електродного дроту до порубу	Малій зварювальної струм	Збільшити силу зварювального струму
Швидко спрацювання подаючих роликків	Велика швидкість подачі електродного дроту Надлишок притискання притискних роликків	Зменшити швидкість подачі електродного дроту Послабити натиск пружин
У напівавтоматах із авіаційнометальною подачею флюсу прилипаєтьця одна флюсу в зварювальну голівку	Забруднюється інжектор або флюсові трубки У фазі містяться велика кількість флюсових частинок Невистатній тиск стиснутого повітря	Прочистити інжектор, трубку і приуникти флюсу Дробити флюс в шаровому млинці з наступним висівом флюсового пилу Збільшити тиск
При зварюванні в закритих тисках спостерігається нерівність у металі тиса	Поганий захист зони зварювання Підвищена вологість газу Підвищена напруга на дугу Невідповідність мережі дроту	Перевірити якість газового захисту Перевірити якість захисту газу, поміняти балон Зменшити напругу і встановити її згідно режиму Уточнити хімічний склад дроту
Немає витoku газу із сопла при відкритому редукторі в тиску в балоні	Отвір редуктора замушений льодом через відсутність опарівача газу Перетиснута або обірвана газова магістраль Несправно встановлено тиску	Відкрити редуктор і включити підігрівач Ліквідувати перетиск або обрив Перевірити наявність живлення електричного магніту
	Висхідний отвір шарового млинці закритий брязкалкою	Очистити брязкалку або замінити сопло

1. У чому суть зварювання під флюсом і його основні переваги?
2. Назвіть недоліки зварювання під флюсом.
3. Які зварні шви і види підготовки кромок використовують при зварюванні під флюсом?
4. Як впливає сила струму на коефіцієнт форми шва?
5. Як впливає напруження дуги на ширину шва?
6. Чи впливає швидкість зварювання і кут нахилу електрода на поперечні розміри шва?
7. Які прийоми використовуються для формування кореня шва?
8. Як класифікують зварювальні автомати?
9. Що входить до складу зварювальних автоматів?
10. Охарактеризуйте будову автомата АД-2002.
11. Охарактеризуйте призначення і будову трактора ТС-17М.
12. Як класифікуються шліфові напівавтомати?
13. Яка будова шліфового напівавтомата ПДШ-500?
14. Які операції входять до контролюючо-профілактичних робіт?
15. Назвіть основні несправності напівавтоматів.
16. Назвіть причини несправностей напівавтоматів.
17. Охарактеризуйте основні способи усунення несправностей.
18. Визначте показники режиму зварювання для низьковуглецевої сталі товщиною 6 мм.
19. Виберіть джерело живлення напівавтомата ПДШ-500.
20. Чи можна використати напівавтомат в середовищі азотного газу для зварювання під флюсом?

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

11.1. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Метод електрошлакового зварювання (ЕШЗ) — це принципово новий спосіб зварювання плавленням. Винайшов його доктор технічних наук Г. Б. Волошкевич, під керівництвом якого в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона були проведені випробування та інженерні розробки техніки й технології зварювання. Це дозволило в короткі терміни здійснити застосування ЕШЗ при виготовленні товстостінних зварних металоконструкцій (валів гідротурбин, станин потужних пресів, бадажів обертових печей, рам шоккових дробилок), при монтажі великих машин і конструкцій.

Стало можливим на монтажній площадці здійснювати зварюванням деталі великої товщини, дотримуючись при цьому великої точності розмірів виробу.

Застосування ЕШЗ на монтажі дозволило споруджувати і ремонтувати кожухи доменних печей, корпуси обертових цементних і металургійних печей. Продуктивність при цьому зросла в 5–6 разів.

За допомогою ЕШЗ і плавлення можна одержати біметалеві заготовки, облицьовувати робочі поверхні товстостінних посудин антикорозійними металами, відновлювати деталі машин. ЕШЗ використовують для виготовлення виробів із низьковуглецевих, низьколегованих, середньолегованих сталей, чавуну, титану, алюмінію, міді та їх сплавів. Раніше для металу товщиною понад 50 мм використовували багатопрохідне дугове зварювання. Наприклад, автоматичне зварювання під флюсом металу товщиною 300 мм виконували, накладаючи зварний шов у 180 шарів, а з ЕШЗ таке здійснення виконують за один прохід.

Електрошлакове зварювання має ряд специфічних особливостей:

1. При ЕШЗ відсутній дуговий розряд. Це забезпечує спокійний процес, виключає розбризкування шлаку й металу при рідкому шлаковому покритті та великих значеннях струму. В результаті є можливість переміщувати електрод по товщині металу, який зварюється, або застосовувати декілька електродів, розташованих гребінкою. Ці прийоми дозволяють зварювати за один прохід метал великої товщини.

2. Електрошлакове зварювання металу будь-якої товщини виконується по зазору однакової ширини за всією товщиною зварного металу. Це виключає необхідність попереднього скоосу зварних кромки, що значно скорочує підходи металу і зменшує витрати на підготовку кромки під час зварювання;

3. Зазор між зварними кромками при ЕШЗ мало залежить від товщини зварного металу. Тому при ЕШЗ, порівняно з іншими способами зварювання, зі збільшенням товщини зварного металу різко скорочується витрата електродного металу;

4. При ЕШЗ використовують у 10–20 разів менше зварювального флюсу, ніж при звичайному зварюванні під флюсом, оскільки кількість флюсу, що подається в зону зварювання, визначається кількістю шлаку, який витрачається на утворення тонкої шлакової кірки на посиленні шва;

5. Завдяки малій витраті флюсу помітно зменшується кількість тепла, яке витрачається на його плавлення, і відповідно при електрошлаковому зварюванні раціональніше використовується електрична енергія;

6. ЕШЗ виконується таким чином, що над кристалізованим металом шва завжди знаходиться рідкий метал і шлак. Завдяки цьому більш повно проходить деталізація металу шва і в ньому різко утворюються пори, навіть коли кромки зварного металу ржаві, а флюс вологий;

7. Наявність рідкого металу над кристалізованим металом шва сприяє витісненню з нього шкідливих домішок. Шва, виконані ЕШЗ, менш схильні до утворення тріщин;

8. Метал будь-якої товщини електрошлаковим способом зварюється за один прохід. При цьому не виникають такі поштриби при багатшаровому зварюванні товстого металу дефекти, як шлакові включення;

9. При ЕШЗ зварний метал прогрівається рівномірно по всій товщині. Розплавлений метал також рівномірно розподіляється по всій товщині металу. Тому при ЕШЗ відсутні кутові деформації зварних з'єднань.

Головним недоліком є те, що одержані ЕШЗ з'єднання, необхідно піддавати високотемпературній термічній обробці, що знижує ефективність цього способу. Обробка потрібна тому, що при ЕШЗ сталей, які використовують для виготовлення товстостінних конструкцій, в більшовиній зоні різко знижується ударна в'язкість металу через його перегрів. Його можна ліквідувати тільки термічною обробкою, яка викликає перекристалізацію.

При зварюванні середьлегованих сталей і особливо сталей з подішкеними властивостями такою термічною обробкою повинне бути гартування з наступним відпуском.

Основні недоліки електрошлакового зварювання:

– можливість проведення зварювання тільки у випадку знаходження зварних планок у вертикальному положенні або близькому до нього (відхилення від вертикалі не більше 30°);

– крупнозерниста структура металу шва в зоні термічного впливу, що призводить до низької ударної в'язкості металу зварних з'єднань при мінусових температурах;

– необхідність при зварюванні виготовлення і встановлення технологічних деталей (шпалок, стартових клипс, «формуючих пристроїв»).

Використання цього способу дозволяє відмовитися від виготовлення багатьох виробів у суцільно литому і суцільно кованим виконанні й перейти до економічніших складних конструкцій із застосуванням зварювання.

11.2. СУТЬ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Спосіб ЕШЗ ґрунтується на виділенні тепла при проходженні електричного струму через розплавлений електропровідний флюс (шлак). Суть його в наступному (рис. 11.1). Зварні деталі 1 збирають вертикально без скоосу кромки. Для формування шва і запобігання витіканню рідкого металу й шлаку з плавицного простору по обидва боки зазору розташовують міцні формувальні поштуки 2, що охолоджуються проточною водою. В утворений повзунами простір подається один або декілька електродів 6, які в процесі плавлення заповнюють рідким металом зазор між кромками зварних деталей 1. На початку зварювання на західну планку 7 закладають флюс, потім включають подачу електродного дроту і збуджують електричну дугу. Після розплавлення флюсу та утворення шлакової ванни 5 рідкий флюс заливає і гасить дугу. При цьому дуговий процес переходить в електрошлаковий. Електричний струм починає проходити через шлакову ванну, нагріваючи її до температури 2500°C і вище. За рахунок тепла, яке виділяється в шлаковій ванні, розплаваються

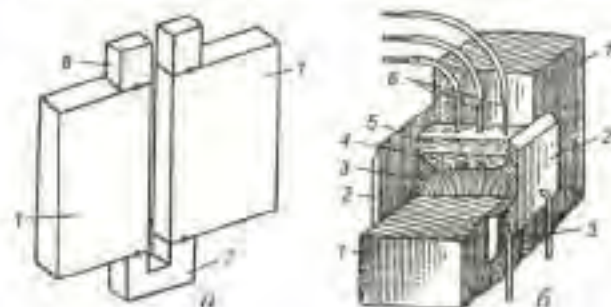


Рис. 11.1. Електрошлакове зварювання:
 а — збирання під зварювання; б — схема процесу зварювання;
 1 — зварні деталі;
 2 — формуючі поштуки;
 3 — зварний шов;
 4 — металеві ванни;
 5 — шлакова ванна;
 6 — електрод;
 7 — західна планка; 8 — внутрішнє підсилення

електродні дроти, розплавлений флюс (шлак) підтримується в річковому стані, а зварні кромки охолоджуються. Внаслідок відведення тепла зварними деталями й мідними повзунами металеві ванни *М* тверднуть і утворюється зварний шов *З*. Електродні дроти та формуючі повзуни зв'язані з ходовою частиною електрошлакової установки і в міру заповнення зазору електродним металом переміщуються дгори із швидкістю зварювання. Натрикіні процеси зварювання шлакова й металева ванни виводяться на вихідні платки. На початку та в кінці зварювання на західних і вихідних планках часто утворюються дефекти (непрояри, усадочні тріщини, шлакові вклучення), які видаляють разом з планками газовим різакм або механічним способом. Залежно від виду й кількості електродів існує декілька різновидів електрошлакового зварювання (рис. 11.2).

Одноелектродне зварювання (рис. 11.2 *а*) без поперечних коливань електрода застосовують для з'єднання деталей товщиною 50–60 мм, із поперечними коливаннями товщиною до 150 мм.

Трьома електродами (рис. 11.2 *б*) із застосуванням трифазного струму, надіючи електродам зворотньо-поступальний рух поперек шва, можна зварювати метал товщиною до 500 мм.

Багатоелектродне зварювання (рис. 11.2 *в*) застосовують для зварювання металу необмеженої товщини. Кількість електродів при трифазному струмі має бути кратне трьом, тобто рівне 6, 9, 12 і т. д. При цьому до кожної фази джерела струму підключають два та більше електродів. Апаратура й техніка процесу ускладнюються.

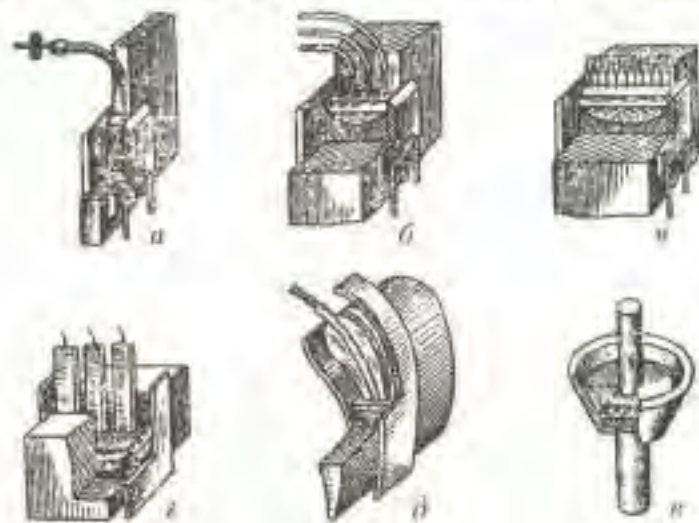


Рис. 11.2. Схема способів ЕШЗ:

а — одноелектродне; *б* — трьома електродами; *в* — багатоелектродне; *г* — пластинчастим електродам; *д* — плавким мундштуком; *е* — стикове електрошлакове

Зварювання пластинчастим електродом (рис. 11.2 *г*) використовують для швів висотою до 1,5 м. Крім пласти, розміри та кількість яких вибирають залежно від товщини металу, можна застосувати товсті стрижки круглого та квадратного перерізу. Апаратура для зварювання спрощується.

Зварювання плавним мундштуком (рис. 11.2 *д*) поєднує зварювання дротяним і пластинчастим електродом. У пластинчастому електроді роблять паз, або приварюють трубки для подачі електродного дроту. При зварюванні пластинка нерухома; по плавкому мундштуку подається й охолоджується дріт. В один мундштук можна подавати декілька дротків і зварювати шви складного криволінійного профілю.

Стикове електрошлакове зварювання (контактно-шлакове) (рис. 11.2 *е*) виконують без присаджувального матеріалу. Струм підводять безпосередньо до стрижки, які зварюють. Після утворення шлакової ванни та сплавлення торців струм виключають і стрижки зварюють. Цей спосіб застосовують при зварюванні заліз. стрижків арматури залізобетонних конструкцій.

11.3. ПІДГОТОВКА І СКЛАДАННЯ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ

При товщині зварюваного металу 200–400 мм кромки підготовляють машинним різанням. При більшій товщині металу, а також для кільцевих швів кромки обробляють механічним способом.

При збиранні стикових з'єднань зміщення кромки не повинно перевищувати 2–3 мм. Для визначення розмірів окремих елементів конструкції треба знати розміри зазорів між ними. Розрізняють розрахункові, зварювальні і збиральні зазори. Зварювальний зазор приймають на 2–3 мм більше розрахункового. Збиральний зазор у нижній частині стика повинен дорівнювати зварювальному. У верхній частині стика зазор збільшують на 2–4 мм на кожен метр довжини стика.

При збиранні під зварювання для вирівнювання деформованих листів використовують шайби-пластини з двома круглими отворами чи інші пристрої. Ці пластини пропускаються в зазор між листами, а в отвір ($d > 40$ мм) забивається циліндричний клин зі скосом.

Перед зварюванням збиральні пристрої видаляють і замінюють закріплюючими пристроями. Найчастіше це скоби, що приварюються з тильного боку стика. При великій товщині листів, коли швидкість зварювання невелика, замість скоб можна використовувати пластину, приварену односторонніми швами з лицьового боку і яку видаляють в процесі зварювання. Електрошлакові шви формують за допомогою водохолоджувачів повзунів чи мідних підкладок, а також підкладок, які приварюються або з'єднуються в замок. Для початку наплавлення електрошлакового шва та виведення його кінця за межі зварного з'єднання використовують вхідні й вихідні платки.

11.4. АПАРАТИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Апарати для електрошлакового зварювання підключаються до спеціальних або звичайних джерел живлення. До їх складу входять механізми подачі і переміщення електродів; механізми переміщення апарата вертикально вздовж стіку; пристрій для примусового утримування зварювальної ванни в зазорі між зварними кромками. За способом переміщення валовж зварних кромки (вертикально або похило до горизонту) ці апарати поділяються на самохідні (рейкові й безрейкові) та підвісні.

В апаратах усіх типів можна використовувати дротяні й пластинчаті електроди або плавкі мундштуки.

Механізм подачі електродів при електрошлаковому зварюванні має постійну швидкість, яка не залежить від напруги на дузі. Конструктивно він мало відрізняється від механізму подачі при механічному електродуговому зварюванні. Виключення становить тільки мундштуки, що вводяться в зазор або розташовуються поза ним.

Введення мундштука в зазор спричинює зменшення радіусу електродів і підсилення точності його напрямку, що досягається за допомогою коректування напрямку.

Механізм зворотного-поступального переміщення електродів у зазорі, відповідно до товщини зварювального металу, аналогічний описаному раніше. Проте механізм переміщення електродів із змінною швидкістю застосовують в апаратах для зварювання порівняно невеликих товщин, а з постійною швидкістю – в апаратах важкого типу. Вертикальне (похиле) переміщення апаратів для електрошлакового зварювання досягається за допомогою механізмів, які рухаються по рейці (рис. 11.3 а, б), встановленій паралельно до зварних кромки; безпосередньо на виробі (рис. 11.3 в); комбіновано (рис. 11.3 з), коли одна частина апарата рухається по рейці, а інша – по виробі і між ними існує гнучкий зв'язок. В апаратах рейкового типу зв'язок між валом і рейкою часто жорсткий, валок має привідну шестерню, зчеплену з рейкою. В безрейкових апаратах цей зв'язок досягається за рахунок плавності потужної пружини, яка притискає з двох сторін зварних кромки валок ходового механізму. Можна також застосовувати магнітні притискачі, але вони небезпечні.

Пристрій для примусового утримування зварної ванни в зазорі між зварними кромками називають формуючими повзунами. Їх виготовляють з міді (найчастіше), графіту або сталі (для зварювання алюмінію). Всі повзуни охолоджуються водою, а їх конфігурація відповідає зварному з'єднанню (стиковому, кутловому або налустковому).

Апарати з пластинчатими електродами або плавкими мундштуками застосовують для зварювання товстого металу. Апарати з дротяним електродом є найуніверсальнішими та мобільними, бо

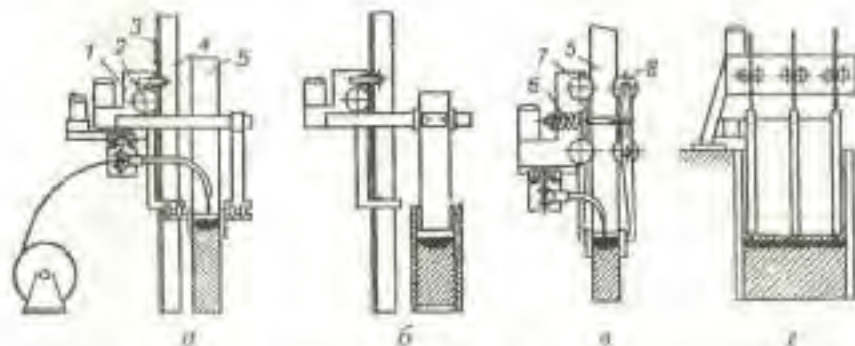


Рис. 11.3. Принципові схеми будови апаратів для електрошлакового зварювання:

а, б – рейковий апарат для зварювання дротяним і пластинчатим електродом; в – безрейковий апарат; г – підвісний апарат для зварювання плавким мундштуком; 1, 2, 3 – жорсткий механізм; 2 – привідна шестерня; 3 – рейка рейкового шліку; 4 – рейка; 5 – зварні кромки; б – притискаюча пружина

апарати з плавким мундштуком (рис. 11.3 з) не мають механізму переміщення вздовж зварних кромки. Вони оснащені механізмами подачі електродів, струбиновими для закріплення апарата на вироб, струмопідводом, пультом керування і котушкою для зварювального дроту (в даному випадку чотири). Струбинова електрично ізолювана від апарата і має кілька ступенів свободи для точного встановлення мундштука в зазорі і напрямку дроту при зварюванні. Якщо апарат неможливо закріпити на вироб, то його можна закріпити на консольній або порталній стаціонарній установці.

Автомат А-1304 (рис. 11.4) застосовується для електрошлакового зварювання плавким мундштуком виробів із сталі, алюмінію. Він складається з механізму подачі трьох-чотирьох електродних дротів і стояка, на якому кріпляться головки та пристрій для підвіски плавкого мундштука й підведення до нього зварювального струму. Стояк установлений на системі сунортів, які забезпечують правильне розміщення плавкого мундштука в зазорі між зварювальними кромками.

Основне обладнання для електрошлакового зварювання наведено в таблиці 11.1

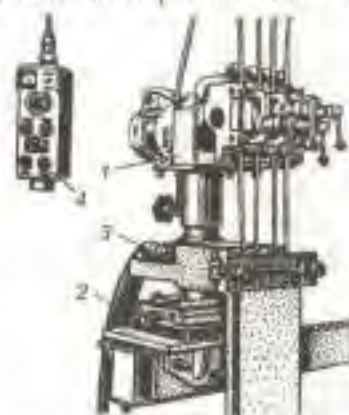


Рис. 11.4. Апарат А-1304 для електрошлакового зварювання плавким мундштуком:

1 – механізм подачі електродів; 2 – струбиновий; 3 – струмопідвід; 4 – пульт керування

Обладнання для електрошлакового зварювання

Наименование	Модель
Підсилювачі для зварювання дриг-зварних електродів	A-671P, A-681
Автомати для зварювання дриг-зварними електродами, рейковими безрейковими і сталевими і пластинчатыми мундштуками	A-820K, A-820M, A-535, A-433P A-632, A-501M, A-1150M A-550Y A-1304, A-645
Трансформатори	ТШС-1000-1, ТШС-1000-3-3, ТШС-3000-1, ТШС-3000-3, ТШС-10000-1, ТШП-10-1, ТШП-15-3, ТШП-20-1, ТРМК-3000-1
Перетворювачі	ПС-1000, ПСМ-1000
Випрямачі	ВКСМ-1000-1, ВС-1000, ВДМ-3001, ВДМ-1601, ВМТ-5000

11.5. МАТЕРІАЛИ ТА РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ

При всіх способах ЕШЗ електродний дріт, пластини, стрижні й мундштуки, як правило, мають такий же хімічний склад, як і зварий заготовки або близькі до нього.

Для ЕШЗ використовують такі флюси: АН-8, АН-8М, АН-22, АН-25, АН-348А, АНФ-1П, АНФ-5, АН-15, АН-18, 48-ОФ-6.

Для початку електрошлакового процесу застосовують електропровідний флюс АН-25 у твердому стані. Вологий флюс перед застосуванням потрібно прокарити в електричній печі при температурі 300–700°C протягом 1–2 год, товщина флюсу повинна становити 80–100 мм.

Основні матеріали та режими для електрошлакового зварювання сталі при прямолінійних стиках відображено в таблиці 11.2.

Основні параметри ЕШЗ: ширина зазору між зварними кромками; розміри електрода (діаметр дроту або переріз пластини); швидкість подачі електрода; сила зварювального струму; напруга на шлаковій ванні; глибина шлакової ванни й дозування подачі флюсу; кількість електродів та їх розташування; величина сухого вильоту електрода; рід зварювального струму; швидкість поперечного зворотно-поступального переміщення електродів; віддалі і витримка їх біля повзунів; інтенсивність охолодження формуючих пристроїв; марка флюсу й електродного матеріалу.

Ширину зазору між кромками має великий вплив на глибину проплавлення та продуктивність процесу. Зменшення зазору при-

Матеріали й режими для ЕШЗ сталі при прямолінійних стиках

Марка сталі	Швидкість подачі дроту діаметром 3 мм		Рекомендована марка електродного дроту	Марка флюсу	Підвищ до температури, °C
	l, г/с	м/хв			
M16C, Ст 3, 20, 16 ГС, 22К, 25Л, 092 ГС	60	250	Св-10Г2 Св-08Г2	АН-8М, АН-8	–
25 ГС, 25 ГС/І, 10ХСНД, 10ХГСНІ/І	69	250	Св-093Г2СМ	АН-8М, АН-8, АН-22, ФЦ-7	–
35, 35Л, Ст 5	62	225	Св-08ХГ2СМ	АН-8М АН-8, АН-22	200
20Х2МА, 14ГХ2МФ	62	225	Св-08ХЗГ2СМ	АН-8, АН-22	350
14ХМНДФР	55	200	Св-0ХГП2МЮ	АН-8, АН-8М, АН-22	–

зводить до зменшення об'єму шлакової ванни, температури її розігріву, зменшення глибини проплавлення, погіршення форми ванни рідкого металу, а це може спричинити появу осередків тріщини.

Виникає можливість короткого замикання струмопроводних мундштука із виробом. Збільшуються витрати електродного металу зменшується продуктивність.

Оптимальні зазори становлять від 18 до 26 мм.

Розмір електрода впливає на глибину проплавлення та стійкість процесу. При збільшенні діаметра електрода збільшується й глибина проплавлення, процес зварювання стає стійкішим.

Дріт використовувати діаметром 2,5–3,0 мм.

При необхідності зварювання дротом більшого діаметра використовувати пластинчаті електроди.

Швидкість подачі електрода визначається силою зварювального струму. Із збільшення сили струму збільшується швидкість подачі дроту.

Збільшення струму призводить до збільшення глибини проплавлення кромки і за рахунок збільшення швидкості подачі дроту збільшується швидкість зварювання. При зменшій швидкості подачі дроту і незмінного струму можливе замикання електрода на металеву ванну, тобто коротке замикання зварювального кола.

Напруга на шлаковій ванні впливає на якість тепла, яке наділяється в рідкому флюсі, що впливає на глибину проплавлення. Із збільшенням напруги збільшується глибина проплавлення, покращується форма ванни рідкого металу, збільшується стійкість металу шва проти осередків тріщини. Велика напруга призводить до перегріву і квітіння ванни. Можлива поява дугового розряду.

Низька напруга спричинює непровари, коротке замикання електроду на металеву ванну.

Кількість електродів, які використовуються, залежить від товщини металу. Зварювання проводиться одним, двома, трьома і гребінкою електродів у кількості 12 штук. Кількість електродів приймається кратна трьом, щоб рівномірно загрузити трифазну мережу.

Рід зварювального струму суттєвого впливу на процес зварювання не має, при будь-якому струмі процес стійкий. У більшості випадків зварювання ведеться на змінному струмі тому, що він дешевий, менша вартість джерел живлення, їх к.к.д. більший, а також більш рівномірне завантаження трифазної мережі.

Швидкість поперечного зворотньо-поступального переміщення електроду впливає на глибину проплавлення. Із збільшенням швидкості глибина проплавлення зменшується і навпаки. У нормі її встановлюють у межах 30-40 м/год.

Марка флюсу й електродного матеріалу має великий вплив на якість шва та його хімічний склад. Невеликі витрати флюсу – мала інтенсивність реакцій взаємодії між рідким шлаком і металом виключає легування через флюс. Тому легування здійснюється через зварювальні матеріали, подачею порошководібних феросплавів, порошковим дротом.

11.5.1. Ориєнтовані параметри ЕПЗ

Зварювальний струм може бути постійним або змінним. Приблизний діаметр електродного дроту становить 2–5 мм, але найчастіше застосовується дріт діаметром 3 мм; швидкість подачі вибирають у діапазоні 0,055–0,11 м/с (200–400 м/год). Із збільшенням швидкості подачі дроту, товщини виробу та сили зварювального струму зростає небезпека появи у шві гарячих тріщин. Напруга зварювання підбирається в діапазоні 32–56 В з умовою відповідного проплавлення кромки залежно від товщини металу, що зварюється, марки сталі, флюсу, швидкості подачі електродного дроту.

Підвищення напруги збільшує глибину проплавлення. Під час зварювання глибина шлакової ванни (30–60 мм) повинна бути постійною. Для цього в неї періодично підсипають флюс. Із зменшенням глибини шлакової ванни погіршується стійкість процесу зварювання. «Сухий» видіт електродів підтримують 70–90 мм. Швидкість коливання електродів дорівнює 0,005–0,015 м/с (20–60 м/год); час зупинки електродів у крайніх положеннях – 6 с, відстань від електрода до повзува в крайньому положенні – 10 мм. Кінематична швидкість, на яку настроюють зварювальні апарати, повинна перевищувати середню швидкість зварювання в 1,5–2 рази.

11.6. ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Техніку ЕПЗ виконують прийомом, які дозволяють:

- надійно збуджувати процес зварювання при довільному перерізі електрода;
- одержати якісний шов на початку при збудженні процесу після вимушеного його переривання;
- утримати аварну ванну і якісно фермувати шов на вертикальній площині;
- достатньо рівномірно проварити кромки за довжиною й товщиною зварного металу.

11.6.1. Збудження процесу зварювання

Для збудження процесу необхідно заспокути зварювальною ланцюг так, щоб у зоні зварювання легко утворилося джерело нагріву.

Спосіб замикання зварювального ланцюга для збудження дугового розряду залежить від перерізу електрода. При діаметрі до 3 мм дуга збуджується надійно, а при більшому діаметрі використовуються спеціальні способи, такі як закорочування через «жучок» з м'якої стружки. Виконується тільки при зварюванні електродними дротами або планками мундштуком. При зварюванні пластинчастим електродом або електродами великого перерізу для збудження процесу зварювання використовується спеціальної флюс АПЗ-25, який має високу електропровідність, у рідкому та в твердому стані. Можна використовувати керамічні флюси, механічну суміш крупиць або порошку із феросплавів і шлакоутворюючих оксидів.

11.6.2. Одержання якісного шва

При ЕПЗ на початку шва (до 20–30 мм) утворюється непровар кромки, що є типовим дефектом вертикального зварювання, оскільки на початку зварювання зазор заповнюється рідким металом при непрогрітах кромках. Тому при зварюванні металу великих товщин на початку зварного з'єднання встановлюють технологічну приставку з вирізом глибиною 60–80 мм. На кінцевій ділянці шва утворюється усадкова тріщина довжиною до 30 мм, тому кінець шва вводять на 40–60 мм вище верхнього зрізу зварного виробу, використовуючи технологічні приставки довжиною 60–100 мм. Кінець шва зварюється на зниженому струмі і підвищеній напрузі, що покращує форму ванни і зменшує глибину тріщини.

Кільцеві шви починають зварювати в спеціальних випенках, які утворюються двома ластівками. Рух виробу здійснюється після повного заварювання кілець. Замість технологічних планок використовують мідний кісель, який охолоджується водою.

11.6.3. Вибір формуючих пристроїв

При ЕШЗ у якості формуючих пристроїв використовують мідний покриття або мідну нерухому підкладку, які охолоджуються водою.

При виборі формуючих пристроїв необхідно врахувати наступне:

1. Покриття забезпечує хорошій огляд зони зварювання, дає можливість здійснювати контроль положення електроди в зазорі й спочасом користувати його, а також контролювати глибину шлакової ванни;
2. При зварюванні електродними дротами покриття дозволяє видіти мушкет у зазор збоку. При цьому зменшується їх довжина і збільшується стійкість;
3. Покриття криється до зварювального апарату або до спеціального механізму переміщення на підвищі, тому його встановлення займає менше часу ніж на встановлення підкладки;
4. Виготовлення покриття легше і вимагає менших витрат міді, особливо при довгих швах;
5. При використанні підкладки не потрібна механічна обробка поверхонь литих, кованих деталей і допускається більше змінювання деталей;
6. Збиральні скоби значно менші ніж при використанні покриття, менше часу потрібно на спостереження за підкладкою порівняно з покриттям.

11.6.4. Рівномірне проварювання кромки

Для забезпечення рівномірного проварювання кромки по довжині стиків необхідно систематично контролювати глибину шлакової ванни і застосовувати різні методи для її збереження в допустимих межах.

Найпоширеніший контроль — використання металевого стержня діаметром 4–5 мм, який запарюють у рідину ванну на 2–3 с. При цьому на ньому утворюється шлакова кірка. Висота шлакової кірки є глибиною шлакової ванни та ванни рідкого металу, тому для визначення глибини шлакової ванни необхідно встановити глибину ванни рідкого металу в місці заміру. Для цього із стержня збивають шлакову кірку і заміряють висоту металевого наросту, що утворився на стержні.

Рівномірний провар одержують при зварюванні одним електродним дротом із зворотно-поступальним переміщенням по товщині металу. При зварюванні двома й трьома дротами їх необхідно розташувати та вибрати амплітуду коливань так, щоб кожен переміщувався в межах шляху товщини зварного металу і на визначену віддалі не доходив до ділянки переміщення сусіднього електроди на 20–40 мм. При зварюванні пластичним електродом оптимальна

ширина пластина становить 100–125 мм. Ефективним використанням пластина шириною до 175–200 мм. Якщо потрібна більш широка пластина слід переходити на три- або шестиелектродне зварювання.

На виробництві застосовують такі способи наведення шлакової ванни:

— «твердий старт», коли зварювальний флюс спочатку плавиться теплою зварювальною дугою на вхідній планці, а потім шунтується флюсом, який підсмажується й розплавляється;

— «різкий старт», коли в простір, який утворюється зварювальними деталями і формуючими водоохолоджувальними пристроями, заливають рідкий флюс, який попередньо розплавляють в окремій печі.

При «твердому старті» бажано приймати більш високу зварювальну напругу (в процесі тривання дуги), ніж при стабільному електродшлаковому процесі. Для більш легкого збудження дуги на дно вхідної планки засипають металевий порошок, стружку, терміти суміші або встановлюють металеві вставки.

Найзручнішими для зварювання є приямкути й кільцеві шви. Завдання зварювання складних профілів завжди можна спростити при правильному конструюванні (наприклад, за допомогою місцевих приливів шириною 50–60 мм на бік рис. 11.5 ж). У випадку малої доступності одного із боків шва можна використовувати підкладку, що відстає (рис. 11.6).

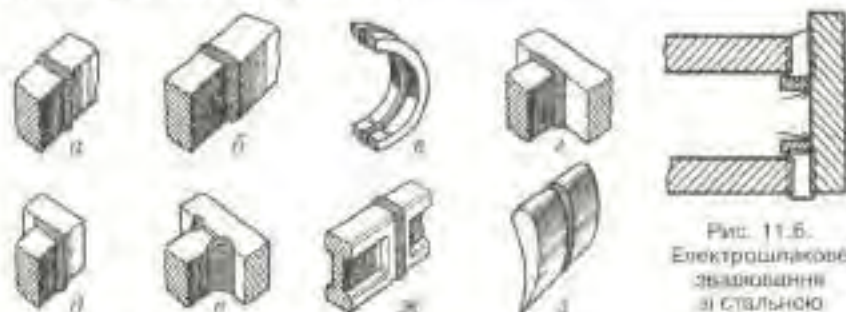


Рис. 11.5. Види зварних з'єднань, виконаних ЕШЗ.
а, б, в, г, з — стикові, д, е — таврові; ж — кутові, з — зміненого перерізу

Рис. 11.6. Електрошлакове зварювання зі сталлю підкладкою, що відстає

Зауважимо, що при високості такої підкладки по довжині, стики повинні бути старанно проварені. Непровар може спричинити утворення тріщин. Для однотипних деталей, які часто повторюються в даному виробництві, можна використовувати мідні підставки або форми, що охолоджуються водою (рис. 11.7).

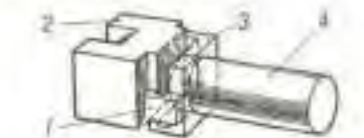


Рис. 11.7. Приклад мідної охолоджувальної форми для електрошлакового зварювання.
1 — покриття, 2 — ванна, 3 — мідна форма, 4 — стержень

ЕШЗ успішно використовують при ремонті й виправленні дефектів лиття, наприклад, при аварійній огорці (рис. 11.8).

Кільцеві шви із технікою зварювання відрізняються від прямолінійних конструктивним оформленням пристроїв для формування зворотного відлива і необхідністю замінювати шва з початком. Зварювання кільцевого стику починають на допоміжній пластинці, ввареній у зварний стіг (рис. 11.9 а).

Після зварювання приблизно півкола стику, ділянка з початком шва переміщується на другому боці катювача (рис. 11.9 б). Потім зварник виплавляє повітряно-дуговим або кисневим різанням початок шва до повної ліквідації несповарів і надає торцеві шва похилого зрізу; лані облетітус виконання шва (замка) (рис. 11.9 в).

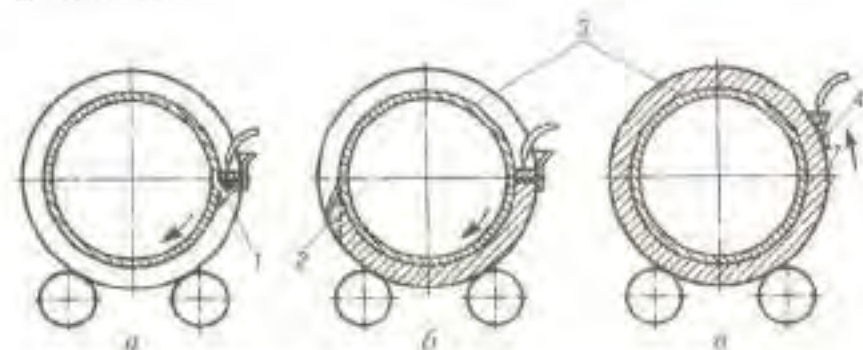


Рис. 11.9. Схема електрошлакового зварювання кільцевих швів:

1 — пластинка для початку зварювання; 2 — електрод (катювач) шва різець; 3 — мідна прокладка; 4 — позвун

Усадкову раковину виводять або в спеціальний пристрій у зовнішньому формуючому ковзуні або в мідний кокіль, або ж виплавляють і заварюють вручну. Формування шва зворотного боку можна здійснювати сталевим кільцем, яке відстає; мідним кільцем, яке охолоджується, зворотнім показуєм. Застосування сталевого кільця можливе тоді, коли конструкція виробу не вимагає його видалення або коли виріб піддається наступній механічній обробці. Крімко кільцевого стику, як і подовжніх ствків, скріплюють усередині та зовні звичайними П-подібними скобми або плазками, привареними до стінок виробів. При зварюванні

з мідним кільцем, яке охолоджується і (рис. 11.10), воно заводитьсь в отвір скоби 2 і закріплюється кільцями 3, які вбиваються між скобками й кільцем.



Рис. 11.10. Кільцевий стіг:

1 — мідне кільце; 2 — отвір скоби; 3 — кільця; 4 — позвун

Будову стику формуючого кільця показано на рис. 11.11. Зворотній пошун застосовується у випадках, коли дозволяє форма виробу.

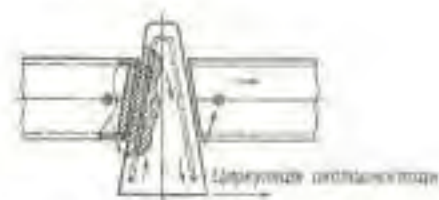


Рис. 11.11. Схема кільцевого з'єднання стику внутрішнього формуючого кільця

При зварюванні закритих посудин великих розмірів, лазоних отворів і при розташуванні стику на значній віддалі від торця виробу встановлення такого посуду утруднюється. Варіанти кріплення посудин показано на рис. 11.12.

При зварюванні прямолінійних швів початок і кінець виводять за межі робочої частини з'єднання шляхом встановлення початкових і кінцевих аланок.

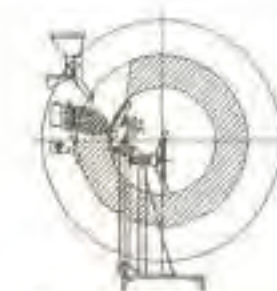


Рис. 11.12. Зварювання вала з застосуванням внутрішнього ковзуна

За умови прийняття спеціальних заходів електрошлаковим способом можна зварювати елементи великої товщини з алюмінію та його сплавів. Елементи з титану та його сплавів при товщині понад 30 мм також доцільно з'єднувати електрошлаковим зварюванням, захищаючи аргоном йоверхню шлакової ванни (рис. 11.13).

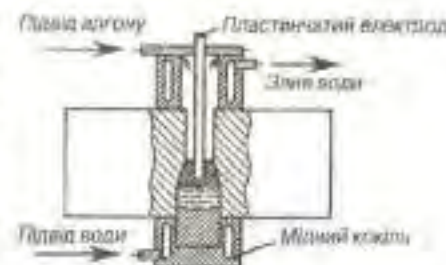


Рис. 11.13. Ескіз стикового з'єднання покосок із титану з мідним кокілем, який охолоджується водою

1. Охарактеризуйте специфічні особливості ЕПЗ.
2. У чому суть ЕПЗ?
3. Як проявляється плазмова арка для ЕПЗ?
4. Назвіть основні способи ЕПЗ, у чому їх різниця.
5. Які основні параметри ЕПЗ?
6. Як шви затарачують для ЕПЗ?
7. Які електроди використовуються для ЕПЗ?
8. Які принципові схеми будови апаратів для ЕПЗ?
9. Охарактеризуйте техніку зварювання змінних швів.
10. Назвіть методи ЕПЗ.
11. Чи впливає на процес зварювання різ зварювального струму?
12. Назвіть основні марки автогенів для ЕПЗ.
13. Виберіть трансформатори для ЕПЗ.
14. Виберіть котролі для ЕПЗ.
15. Виберіть основні марки дроту для ЕПЗ.
16. Виберіть основні марки флюсу для ЕПЗ.
17. Який пристрій використовують в якості формуючого?
18. Назвіть способи контролю зварної ланки.

12.1. ПЛАЗМОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Особливістю плазмового зварювання є висока температура столба дуги (10 000–30 000°C) внаслідок стискання його струменем газу (аргоном, гелієм, воднем та їх сумішами). В результаті стискання і великої густини струму матеріал переходить у четвертий агрегатний стан (крім рідкого, твердого й газоподібного), який називають плазмою. Плазма – це оголені ядра та відірвані від них електрони. Розрізняють дугову плазму таких видів: плазма, виділена із столба дуги (рис. 12.1 а), і плазма, що співпадає із столбом дуги (рис. 12.1 б). Відповідно існують два види зварювальних пальників-плазмотронів. У плазмотронах із плазмою, виділеною із столба дуги, дуга горить між неплавким вольфрамовим електродом, який є катодом, і охолоджуванім водою соплом. У цьому випадку плазмова дуга є незалежною від виробу, тому що вибір не під'єднано до зварювального жила. У плазмотронах із плазмою, що співпадає із столбом дуги, дуга горить між вольфрамовим електродом (катод) і виробом, який під'єднано до позитивного полюса джерела струму.

Робочим інструментом для плазмового зварювання є пальник (плазмотрон) із змінним охолоджуванім водою вольфрамовим електродом і плазموутворюючою насадкою. Тиск дуги і теплова енергія, що входить у виріб, залежить від діаметра насадки, кута заточення електрода і встановлення електрода відносно плазموутворюючої насадки. Діаметр насадки залежить від сили зварювального струму (табл. 12.1), напруги на дугі, витрат і складу плазموутворюючого і захисного газів.

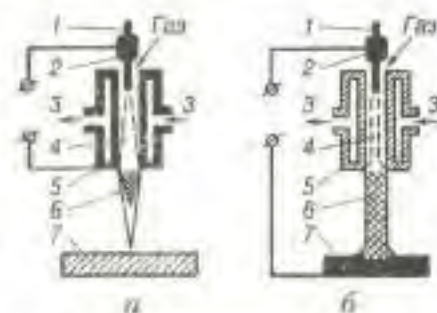


Рис. 12.1. Плазмове зварювання:

а – зварювання плазмою, виділеною із столба дуги; б – плазма, що співпадає із столбом дуги; 1 – вольфрамовий електрод; 2 – струмопровідний мундштук; 3 – охолодна вода; 4 – стовп дуги; 5 – мідне сопло; 6 – плазмовий струмінь (дуга); 7 – основний метал

Таблиця 12.1

Залежність діаметра насадки від сили зварювального струму

Сила струму, А	100	140	170	220	250	300
Діаметр насадки при руському зварюванні, мм	2	2,5	2,8	4	5,2	3,5

Діаметр вольфрамового електрода залежить від величини зварювального струму (табл. 12.2)

Таблиця 12.2

Залежність діаметра вольфрамового електрода від сили зварювального струму

Сила струму, А	120	200	250	300
Діаметр електрода, мм	3	4	5	6

Електрод перед зварюванням загострюють на конус під кутом 28–30°. Довжина конуса має становити 5–6 діаметрів електрода. Конус пригладжують заокругленням діаметром 0,2–0,5 мм. Електрод установлюють так, щоб його вісь співпадала з віссю плазмоутворюючої насадки. Для зварювання використовують плазмоутворюючі гази: аргон і його суміші з воднем і гелієм та захисні гази суміші аргону з 5–8% водню при зварюванні легованих сталей, міді, нікелю; вуглекислий газ — при зварюванні низькоуглецевих і низьколегованих сталей.

Кромки деталей перед зварюванням зачищають щітками від бруду, масла на ширину 30 мм і обезжирюють розчином. Стики складають без зазорів. Максимальний зазор не повинен перевищувати 1,5 мм. Прихvatки виконують покривними електродами, аргонно-дуговим або руським плазмовим зварюванням. Підслення прихvatок видаляють механічним способом. Плазмові зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Перед запалюванням дуги в зону зварювання протягом 5–20 с подають захисний газ. Відстань від плазматрона до шва не повинна перевищувати 10 мм. У випадку обриву дуги кратер шва і прилегу зону (не менше 15 мм) обдувають захисним газом. Дугу збуджують на відстані 10–15 мм від кратера на руському зваренні довжині шва. В процесі зварювання не допускається перегрівання металу. При нагріванні металу вище 1000°С на відстані 20–25 мм від шва, необхідно зробити перерву або охолодити стик стисненим повітрям, не припиняючи зварювання. Після обриву дуги подачу газу продовжують протягом 10–15 с.

За технікою плазмового зварювання поділяється на зварювання плазменним і зварювання з наскрізним проплавленням.

Для створення шва необхідної форми плазмові зварювання виконують із присадковим металом діаметром не менше 1,5 мм.

У процесі зварювання вольфраму і дроту надають колишальні рухи з амплітудою 2–4 мм. При цьому кінець присадки завжди повинен знаходитися у зоні захисного газу. Не можна різко подавати кінець присадки у зварну ванну. Кратер зварюють уведенням краплі розплавленого металу з одночасним відведенням плазматрона до протилежного обриву дуги або її вимкнення системою керування.

Плазмові зварювання використовують для стикових з'єднань товщиною до 10–15 мм без рашіпання кромки. При більшій товщині необхідний V- або U-подібний сніс кромки із кутом розкриття 30° і пригладженням 7–10 мм.

Плазмовою дугою можна зварювати з'єднання товщиною 0,1 мм і менше. В цьому випадку вже при струмі 1 А утворюється плазмова дуга голчастої форми. Плазматрони для зварювання товстих матеріалів розраховані на струм до 7 А.

Дугову плазму використовують для зварювання, різання та наддавлення металів. Зварювання може бути руським, напівавтоматичним і автоматичним.

12.2. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Електронний промінь отримують у вакуумному пристрої — електронній гарматі (рис. 12.2). У вакуумі з розжареного катода виділяються електрони, що рухаються до анода — зварюваної деталі. Ці електрони прискорюються електричним полем, створеним спеціальним пристроєм, і набирають значну швидкість і енергію. Для отримання електронного променя електрони фокусують магнітним полем, створеним спеціальним пристроєм. Сфокусовані у півний пучок електрони, ударяючись у зварювану деталь, віддають їй свою енергію, яка плавить і зварює метал. Вакуум у середній камері необхідний для того, щоб енергія електронів не витрачалась на іонізацію газу в камері, та для одержання шва без газових включень. Глибокий вакуум (10^{-3} мм рт. ст.) створюється насосною системою зварювальної установки.

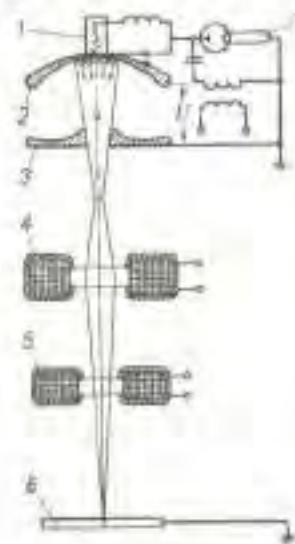


Рис. 12.2. Електронно-променево зварювання:

1 — катодна спіраль; 2 — фокусуюча головка катода; 3 — перший шнур із захисним газом; 4 — фокусуюча магнітна головка для регулювання діаметра пучка електронів на виробі; 5 — магнітна система відхилення променя; 6 — зварюваний шов; 7 — високочастотне джерело живлення катода

Електропний промінь можна подати безперервно або імпульсами. Керування енергією променя виконують за допомогою переривника, який умикають у коло живлення керуючого електрода. Густина енергії променя регулюють зміною напруженості магнітного поля фокусувальної лінзи. Це дає можливість керувати температурою нагрівання матеріалу.

Теплова потужність електронного променя в тисячі разів більша за потужність звичайної зварювальної дуги. Це забезпечує високу швидкість зварювання, вузькі й глибокі шви, малу білатеральну зону, низькі деформації.

Електропно-променеве зварювання використовують в електронній та атомній промисловості, в літако- й ракетобудуванні. Використовують зварні шестерні, різальні інструменти, відповідальні будівельні конструкції (балки, колонні), вузли парогенераторів і двигунів внутрішнього згорання. Цим способом зварюють титанові сплави (титан, ніобій, вольфрам, молибден) і легкоокислювані (шариковий, берилій, титан, алюміній, магній) метали та їх сплави.

12.3. ЛАЗЕРНЕ ЗВАРЮВАННЯ

У 1964 р. вчені Н. Басов, А. Прохоров і Ч. Таунс створили оптичну квантову установку, за допомогою якої отримали енергію у вигляді вузьконаправленого лазерного променя (рис. 12.3).

Використовують лазери таких типів: твердий, газовий, рідкий і напівпровідниковий. Лазерна установка складається з дзеркала світла високої інтенсивності, вмонтованого всередині камери з рубіновим стрижнем, зокрема з розсіюючим рубіном, який складається з оксиду алюмінію з домішкою хрому до 0,05%. На кінцях рубінового стрижня є паралельні дзеркала. Одне дзеркало має 100%-ну відбитальну здатність, друге – менше 100% із отвором для виходу променя.

Під час роботи біле світло високої інтенсивності поглинається рубіновим стрижнем, доки не досягне максимального нагрівання. Потім починається випромінювання з рубінового стрижня коротких імпульсів нової енергії у вигляді червоного світла через отвори в частково відбитальному дзеркалі. Після кожного випромінювання енергія в стрижні зменшується і цикл повторюється. Кожен цикл

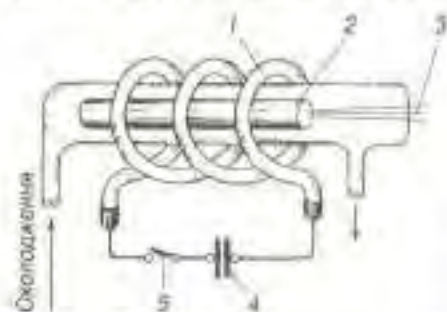


Рис. 12.3. Лазерне зварювання.

1 — газорозрядна лампа в кварцовій трубці, 2 — рубіновий стрижень, 3 — світловий промінь, 4 — високовольтний конденсатор, 5 — вимикач

вимірюється мікросекундами. Хвиля випромінюваного променя може співпадати з підвищеною хвилею білого кольору і цим підсилити випромінювання. Таке підсилення за допомогою примусового випромінювання має назву «змієр».

Для охолодження лазерної установки використовують рідкі газы – азот і гелій. Промінь лазера фокусується оптичною лінзою у пляму діаметром шв. 0,01 до 0,1 мм. Густина теплової енергії зменшується, незалежно від того, що знаходиться на шляху променя – повітря, шкертний газ, скло, вакуум чи інші прозорі речовини.

Перевагою лазерного зварювання є:

- низьке поглинання випромінювання теплової енергії, завдяки чому зменшується зона термічного впливу;
- висока густина енергії дозволяє з'єднувати різні метали;
- шви формуються за тисячні частки секунди, що позитивно впливає на хімічний склад зварюваних металів;
- можливість автоматизації процесу зварювання.

Широко використовується лазерне різання металів із піддуванням повітря, кисню або аргону. Лазером різють низькоуглецеві сталі товщиною до 10 мм, легуючі сталі до 6 мм, нікелеві сплави до 5 мм, титан і ніобій товщиною до 3 мм, а також дерево, скло, кераміку, лабоцемент, гуму.

12.4. ТЕРМІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Термітне зварювання – це вид зварювання плавленням (рис. 12.4). Зварювання цього виду виконують за допомогою терміту – порошкової суміші алюмінію з оксидом. Алюміній в окислювальному згорянні і при цьому виділяється оксид алюмінію та залізо: $8Al + 3Fe_2O_3 \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe$.

Алюмінієвий терміт широко використовують для зварювання рейок на трамвайних і залізничних коліях, стрижнів і валів великого діаметра.

Магнієвий терміт застосовують для зварювання сталевих проводів зв'язки, причому зварювані кінці не оплавляються, а процес зварювання відбувається в пластичному стані при стисненні. При термітному зварюванні використовують спеціальні топілі для спалювання терміту. Термітну суміш підпалюють спеціальними термітними сірничками (магнієвий терміт). Суміш

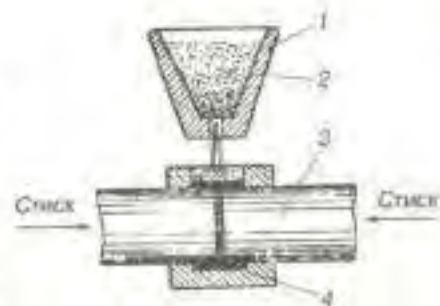


Рис. 12.4. Термітне зварювання.

1 — тигель, 2 — термітна суміш, 3 — клепані рейки, 4 — конічний формаль

торить за рахунок кисню окислення і не потребує кисню повітря. Горіння відбувається рівномірно, без вибухів, температура досягає 3000°C і вище. В тислі від згорівня терміту утворюються розплавлені метал і шлак, які через отвір на дні тисла відливають у заформовані і попередньо нагріте місце зварювання. Розплавлений метал підігрівас кромки металу до розплавлення, а після охолодження утворос шов. Роз'ємну форму знімають, а шлак зачищають. Для збільшення кількості наплавленого металу в терміт додають до 50% сталевій стружки, пшавіа, а для легування – феросплави. При з'єднанні рейки складають із зазором, а кінці розміщують у роз'ємну внутрішню форму. Потім з тисла заливвають рідкий терміт. Після розігрівання торці рейок стискають спеціальним пресою. У цьому випадку термітне зварювання відноситься до зварювання плавленням із застосуванням тиску.

12.5. КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Контактне зварювання – основний вид зварювання терміємеханічного класу (рис. 12.5). Нагрівання металу проходить у результаті виділення тепла в зоні контакту зварюваних деталей при пропусканні через них великого зварювального струму. При проходженні струму в місці дотикку деталей виникає великий електричний опір і виділяється тепло, яке нагріває метал до пластичного стану. Після цього деталі стискаються і виникає нероз'ємне з'єднання. Основними способами контактного зварювання є стикове, точкове й шовне.

При **стиковому** зварюванні деталі закріплюють у затискачах і пропускають струм від трансформатора, зближуючи кінці деталей. В площині дотикку деталі швидко нагріваються до зварювальної температури. Потім струм зникає, а деталі стискають. Цим способом зварюють рейки, труби, стрижні, свердла, ланки, різні тощо.

Існує два способи стикового зварювання: зварювання опором, при якому торці деталей нагрівають до пластичного стану, а потім стискають; і зварювання оплавленням, коли поверхні торців доводять до стану плавлення, після чого їх стискають. Розрізняють зварювання безперерпим і перерпим (імпульсним) оплавленням, а також оплавленням з підігрівом.

Для захисту металу від взаємодії з газми при стиковому зварюванні хімічно активних металів використовують захисні інертні гази. Проблемою стикового зварювання є необхідність виділення запряк – металу, який утворюється при стисненні. Їх зливають крутну або механічним способом відразу після зварювання.

При **точковому** зварюванні листи з'єднують унапуск і затискають між мідними електродами, через які пропускають струм від трансформатора. Метал у точці опори сильно нагрівається внаслідок

підвищення опору при проходженні струму (0,01–0,5 с). Потім струм зникає, а деталі стискають за допомогою спеціального механізму електродів.

При виготовленні батарейної конструкції (вагонів, кузовів автомобілів тощо) використовують різні способи точкового зварювання: рельєфне (пресове), автоматичне багатоточкове, одноточкове та ін.

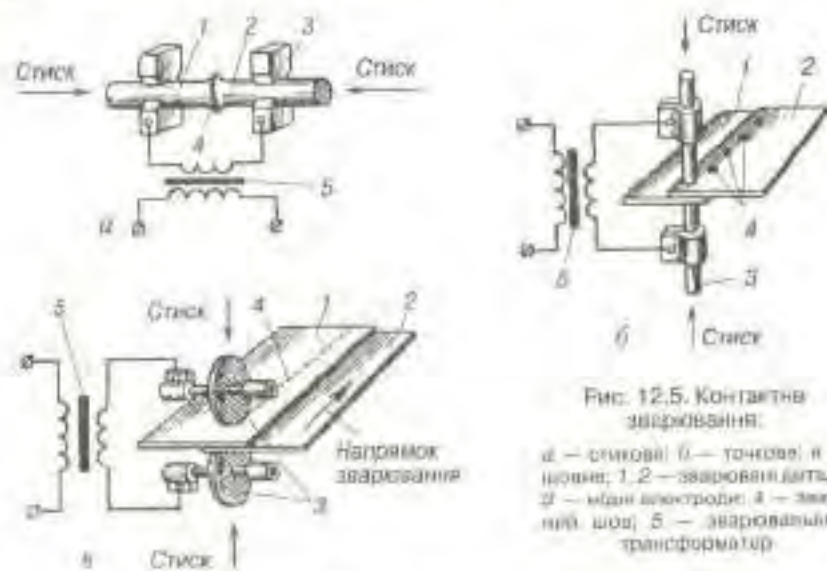


Рис. 12.5. Контактне зварювання:

а – стикове; б – точкове; в – шовне; 1, 2 – зварювані деталі, 3 – мідні електроди, 4 – зварений шов; 5 – зварювальний трансформатор

Точкове зварювання проводять на м'яких і жорстких режимах. М'якому режимові характерні відносно мала густина струму (70–160 А/мм²), велика тривалість циклу (0,5–3 с) при порівняно низькому тиску (15–40 МПа). При жорсткому режимові густина струму становить 160–360 А/мм², тривалість зварювання – 0,2–1,5 с і тиск – до 150 МПа. М'які режими застосовують для зварювання вуглецевих і нікельлегітованих сталей, а жорсткі – для корозійостійких сталей, алюмінію та мідних сплавів.

Шовне зварювання виконують на шовних зварювальних машинах, де замість стрижневих електродів використовують ролик. При зварюванні листів утворюється суцільний шов. За допомогою дискового ролика передається аусидна до деталей, подається струм і деталі переміщуються.

Використовують цей спосіб шовного зварювання: безперерпне, перерпне з безперерпим обертанням ролика, перерпне з періодичним обертанням ролика. Шовне зварювання використовують при виготовленні емкоостей з товщиною стінок 0,3–3 мм, де необхідна герметичність швів.

Недоліком контактної зварювання є значна короткочасна потужність, яка споживається від живильної мережі в момент зварювання. Для накопичення запасної енергії використовують такі способи: електристатичний, або конденсаторний, електромагнетний, інерційний та акумуляторний.

Контактне зварювання виконують спеціальними машинами, що складаються із зварювального трансформатора, переривачка зварювального струму, регулятора струму первинного кола трансформатора, струмовідвідних пристроїв, а також механізмів для створення необхідного тиску для стиснення деталей.

12.6. ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Дифузійне зварювання вперше було запропоноване і практично розроблене Н. Ф. Кокаковим. Зварювання проходить завдяки взаємній дифузії твердих частинок металів при дотyku їх поверхонь після стиснення. Дифузія – це проникнення молекул однієї речовини (газу, рідини, твердого тіла) в іншу. Рух молекул зумовлений нагріванням зварюваних металевих частин. Для уникнення окиснення зварюваних поверхонь і підсилення дифузії зварюють у вакуумі. Нагрівання здійснюють контактним або індукційним нагрівачем.

Установка для зварювання (рис. 12.6) складається з мідної охолоджуваної камери 1, всередині якої розташовані пристрій для криплення зварюваних деталей 2 і молибденовий нагрівач або індуктор 3. Через сальник 4 камери проходить шток 5, який передає на деталі 2 стискаюче зусилля від навантажувального пристосування 6 або від гідравлічного пристрою, який в широких межах допускає зміну величини питомого тиску при зварюванні.

Нагрівання проходить у вакуумі при заданковому тиску 10^{-4} – 10^{-5} мм рт. ст. під камерою 1 або в контрольованому середовищі водню, аргону, гелію або вуглекислого газу, якими заповнюють

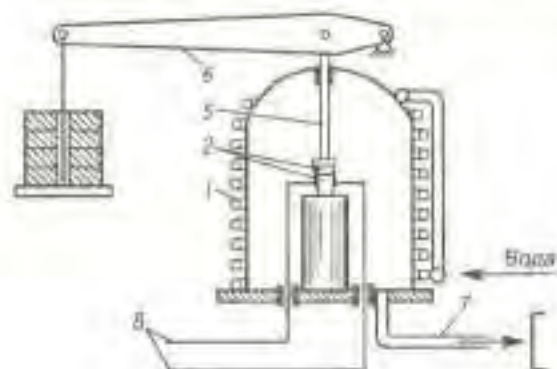


Рис. 12.6.
Дифузійне зварювання:
1 – камера; 2 – зварювані деталі; 3 – нагрівач або індуктор; 4 – сальник камери; 5 – шток; 6 – навантажувальне пристосування; 7 – трубка; 8 – проводи

камеру 1. Таким чином, вільною поверхнею, якої може окиснювати поверхні зварюваних деталей, відсутній. Трубка 7 з'єднує камеру 1 з вакуумним насосом або балоном із захисним газом. Проводи 8 з'єднують індуктор 3 з джерелом струму.

Питомий тиск при зварюванні може становити від 0,03 до 1,0 МПа залежно від температури зварювання і виду зварюваних матеріалів. Перед зварюванням поверхні деталей очищають від бруду, жиру, фарб, вологи та оксидної плівки тонкими, поліруванням або протиранням хлористим вуглецем. Температура нагрівання задається електронним терморегулятором, а час зварювання – електронним реле часу.

Збільшення тиску від 0,05 до 0,2 МПа призводить до збільшення дифузії і підвищення міцності зварного з'єднання. При надто великому тиску спотворюється кристалічна решітка металів і міцність шва зменшується.

При збільшенні температури нагрівання від 800 до 1100°C міцність з'єднання підвищується, а подальше підвищення температури призводить до зменшення міцності зварного з'єднання.

При збільшенні вакууму і часу зварювання міцність з'єднання зростає. Надто великий час витримування знизжує міцність з'єднання через ріст зерен у металі.

Дифузійне зварювання використовують для з'єднання однорідних і різнорідних металів, сплавів і різнорідних матеріалів, у т. ч. тугоплавких (наприклад, мідь з молибденом, вольфрамом, ренієм; сталь з чавуном, алюмінієм, вольфрамом, титаном, металокерамікою, графітом, склом, іржавий з латунями та ін). Цей вид зварювання застосовують для одержання виробів із високоточними розмірами, для з'єднання матеріалів, які піддаються зварюванню плавленням; для виробів, які працюють у складних умовах; для деталей з великою різницею коефіцієнтів лінійного розширення.

12.7. ДУГОПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ (ОБЕРТОВОЮ ДУГОЮ)

Цей спосіб оснований на використанні тепла електричної дуги, яка переміщується по колу вздовж стику за допомогою обертового магнітного поля. Магнітні поля створюються котушками електромагніту. Взаємодіючи із струмом дуги, вони примушують її крутитися з великою швидкістю по колу кромки, утворюючи суцільне кільце дугової плазми. При цьому кромки швидко нагріваються до оплавлення і при стисненні зварюються. Рідкий метал і плазми витіснюються назад, утворюючи насиченісве зварне з'єднання. Зварювання виконують постійним струмом.

Існує два види зварювання обертовою дугою. В першому випадку (рис. 12.7 а) дуга збуджується між торцями кромки труб і після їх оплавлення труби стискаються. У другому випадку (рис. 12.7 б) дуга горить між стінками труб і внутрішньою поверхнюю зовнішнього елемента, що охолоджується водою. При шлізованому складанні без зазорів стискання труб не виконують. Цей спосіб використовують для зварювання нешворотних стінок труб.

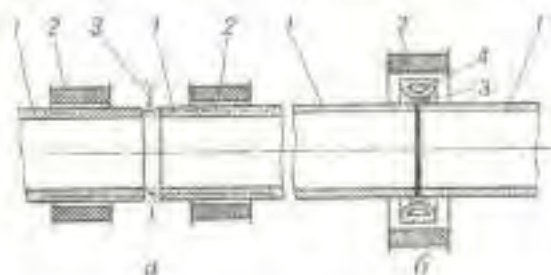


Рис. 12.7 Зварювання обертовою дугою:

а — дуга, що горить між торцями кромки; б — дуга, що горить між кромками і внутрішньою поверхнюю зовнішнього елемента; 1 — кінець труби; 2 — котушка електромагніту; 3 — зварювальна дуга; 4 — напір води

12.8. ІНДУКЦІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Цим способом зварюють подовжні шви труб (рис. 12.8) у процесі їх виготовлення на прокатних станах і надалають твердимі сплавами різучі кромки інструментів (зуби бурових долот та ін.). Індукційне зварювання ґрунтується на розігріванні струмами високої частоти торців деталей до пластичного стану з наступним їх стисканням.

Кромки труб, які заформовані в об'єднаних роликках, безперервно нагріваються височастотним індуктором до зварювальної температури, а потім стискаються. При цьому вони зварюються, утворюючи шов.

Цей спосіб придатний для зварювання тонкостінних труб. Швидкість зварювання труб діаметром 50 мм при товщині стінки 1,65 мм становить 45,5 м/хв. Для зварювання труб з низько- і середньомуглецевої сталі використовується струм частотою 4 000–100 000 Гц, а для труб з алюмінію, латуні й нержавіючої сталі — 450 000 Гц. Зварювання виконують за допомогою індукторів різних типів: багатополкових, плоских, петльових тощо. Для зменшення шуптування зварювального струму через стішку труби всередину вводять феритний сердечник.

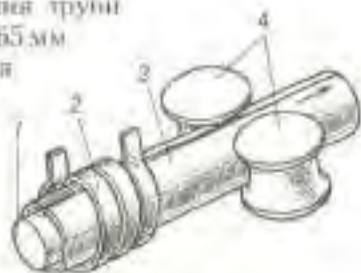


Рис. 12.8. Індукційне зварювання:

1 — феритний сердечник; 2 — височастотний індуктор; 3 — заготовка труби; 4 — об'єднані ролики

12.9. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

Зварювання тертям — це один із видів зварювання плавленням. Цей спосіб зварювання був запропонований в 1956 р. слюсарем-вожатаром А. І. Чудіковим. Зварювання тертям (рис. 12.9) полягає в тому, що внаслідок тертя торця одного із зварюваних стрижнів об торця іншого місце з'єднання нагрівається до пластичного стану. При застосуванні осьовою дугою стрижні стискаються і з'єднуються. Торці деталей при терті нагріваються до температури близько 1 200°C (при зварюванні сталі). Крім нагрівання сітки тертя руйнують поверхневі плівки оксидів. Для обертання і стискання зварюваних деталей використовують спеціальні верстати, які за механічною схемою нагадують токарні. Одна деталь нерухома, а інша притиснута до першої й обертається. Коли температура у стикі досягає температури зварювання, тертя різко припиняється, а осьове зусилля зростає.

Зварювання тертям використовується для з'єднання труб, стрижнів, різального інструменту (свердла, рілів, розверток), деталей із різнорідних матеріалів (алюмінію із сталлю та ін.), а також різних деталей круглого перерізу із сталі, чавуну, латуні, міді та алюмінію.

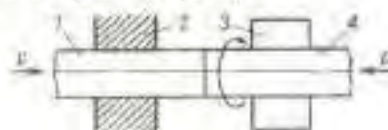


Рис. 12.9. Зварювання тертям:

1 — нерухома деталь; 2 — вкручений записач; 3 — обертовий патрон верстата; 4 — обертовий стрижень

12.10. ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Холодне зварювання — це один із видів зварювання тиском. Його виконують без нагрівання металу зовнішнім джерелом тепла, але з утворенням пластичної деформації в місці зварювання. Суть зварювання цього виду полягає в тому, що атоми металу біля поверхні дотику з'єднаних частин при великому тиску пунсонів зближуються приблизно на ті ж відстані, при яких вони знаходяться в середині металу. Холодне зварювання може бути точковим (рис. 12.10), стиковим і шовним. Цим способом зварюють тільки пластичні матеріали: алюміній, мідь, свинець, цинк, титан, нікель і різні метали (азвайнні з міддю або свинцем, мідь з нікелем, латунню, нержавіючими сталлями та ін.).

Холодне зварювання широко використовується в електротехнічній промисловості для з'єднання проводів і шпн, армування контактних з'єднань спеціальними ключами.

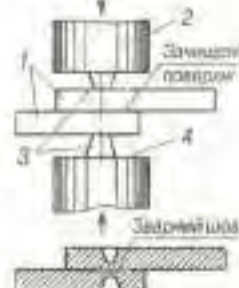


Рис. 12.10. Холодне зварювання:

1 — зварювані деталі; 2 — пунсон; 3 — робоча частина пунсона; 4 — опорні поверхні пунсона

12.11. ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ

Зварювання вибухом — вид зварювання тиском, який здійснюється під дією вибуху (рис. 12.11). Основою цього способу зварювання є вплив направленного короткого часу надвисокого тиску на зварювані деталі. Одна із зварюваних деталей (пластина) вкладається на жорстку основу, а інша — під кутом 2–7° до неї і на відстані 2–3 мм. Заряд вибухової речовини розміщують рівномірним шаром безпосередньо на верхній пластині. Вибух проводиться детонатором, розташованим над верхньою кута. У результаті вибуху верхня деталь потоком продуктів детонації з великою швидкістю вдаряється в нижню. В момент вибуху між деталями створюється велика стискаюча сила і направлений струмінь повітря, який очищує поверхню листових деталей. У цей момент метал з'єднаних пластин тече подібно рідині і зливається в одне ціле, утворюючи монолітне зварне з'єднання. Зона з'єднання досягає 0,3–0,4 мм.

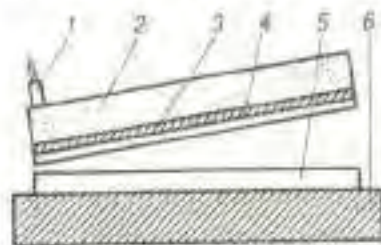


Рис. 12.11.
Зварювання вибухом

1 — детонатор; 2 — вибухової речовини;
3 — шар гуми; 4, 5 — зварювані деталі;
6 — основа

Зварювання вибухом використовується з 1964 р. для одержання біметалевих заготовок, виробів трубчастого перерізу тощо. Цим способом можна з'єднати деталі площею 15–20 м². Зварне з'єднання утворюється протягом мільйонної частки секунди, що виключає можливість виникнення дифузійних процесів. Тому цим способом можна з'єднувати такі різномірні метали, які при зварюванні плавленням дають крихкий з'єднання.

12.12. УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ультразвукове зварювання (рис. 12.12) подібне зварюванню тертям. Пероз'єднання утворюється при спільній дії на зварювані деталі механічних коливань високої (ультразвукової) частоти і відносно невеликих стискаючих зусиль.

Сили тертя виникають при впливі на стиснуті осовою силою заготовки механічних коливань ультразвукової частоти (20–30 кГц). Такі коливання утворюються в спеціальних генераторах потужністю 3–10 кВт і магнітострикційних¹ перетворювачах. Коливання й тиск передаються зварюваним деталям через спеціальний пристрій. Коливання викликають зсув частин металу, руйнування

¹ *Магнітострикція* — зміна розмірів тіла при намагнічуванні.

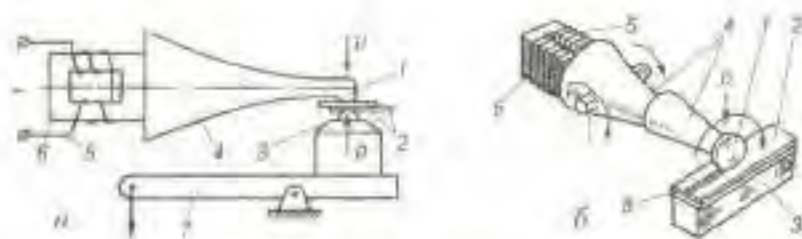


Рис. 12.12. Ультразвукове зварювання:

а — товщина; б — діаметр; 1 — вершина електроду; 2 — зварювані деталі; 3 — шпилька електроду; 4 — шпилька; 5 — обмотка струму високої частоти; 6 — вібратор; 7 — магнітний сердечник створює; 8 — зварний шов; Р — зусилля стиску

впливи і розігрівання зварюваних поверхонь, а тиск — необхідну пластичну деформацію. Елементом коливальної системи є електромагнітний перетворювач. Змінна напруга створює в обмотці перетворювача намагнічувальний струм, який збуджує змінне магнітне поле в матеріалі перетворювача. При зміні величини напруженості магнітного поля в матеріалі виникає періодично змінна розтяжка, при цьому частота пружких коливань рівна подвійній частоті струму. Амплітуда коливань на кінці зм'яглювача на коловому ході становить 20–40 мкм.

У результаті ультразвукових коливань у тонких шарах поверхонь деталей створюються деформації зсуву, які руйнують поверхневі плівки. При цьому утворюються впади зменшення, поверхневі шари нагріваються і під дією стискаючого зусилля пластично деформуються. Зварювані поверхні наближаються до відстані дії міжатомних сил і виникає міцне зварне з'єднання.

Перевагами ультразвукового зварювання є:

- незначний тепловий вплив на зварювані деталі, який забезпечує мінімальну зміну їх структури;
- застосування невеликих стискаючих зусиль (0,1–2,5 кН) призводить до виникнення малих ум'ягнень (5–10%);
- зварювання в твердому стані без суттєвого нагрівання дає можливість зварювати хімічно активні матеріали;
- можливість зварювання дуже тонких деталей;
- низька потужність зварювального обладнання й простота конструкції.

Недоліками ультразвукового зварювання є:

- обмеження товщини зварюваних деталей;
- вплив високої частоти на організм людини;
- висока вартість генераторів високої частоти.

Цей спосіб зварювання використовується в приладобудуванні, радіоелектроніці для з'єднання пар металів: хромель — алюмель (350°C), мідь — константан (450°C), алюмінію (200–300°C), міді (600°C), а також термопластичні, поліетиленових паївки, скла товщиною 0,05–0,5 мм.

12.13. ІМПУЛЬСНО-МАГНІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Імпульсно-магнітне зварювання широко використовується з 1955 р. При цьому зварюванні співударних зварюваних деталей забезпечується імпульсним магнітним полем від розряду батареї конденсаторів. Зварювальний процес проходить миттєво — за 0,01 с. Зона термічного впливу в етичному з'єднанні досягає 0,01 мм. Зварювання виконують тиском на спеціальних машинах. Після початку зварювання тиск верхнього електрода підсилюється імпульсним магнітним полем. Завдяки цьому подача верхнього електрода прискорюється настільки, що набирає ударного характеру. Тривалість імпульсу й швидкість співударяття близькі до зварювання вибухом. Перевагою імпульсно-магнітного зварювання є легке керування параметрами процесу. Міцність зварного з'єднання при будь-якому навантаженні наближається до міцності основного металу. Режими механізованого імпульсно-дугового зварювання плавким електродом наведені в табл. 12.3.

Таблиця 12.3

Орієнтовні режими механізованого імпульсно-дугового зварювання плавким електродом

Тип з'єднання	Товщина зварюваного металу, мм	Просторове положення шва	Діаметр електродного дроту, мм	Середній струм, А	Швидкість подачі електрода, мм/хв	Напруження дроту, В	Параметри імпульсу		
							амплітуда, А	тривалість, мс	частота, с ⁻¹
<i>Сталь АМб, електродний дріт марки Св-АМб (в арктиці)</i>									
Стикові	4	Горизонт.	1,6	70-80	130-140	18-19	680	1,2	100
	4	Вертикальне	1,6	70-80	130-140	18-19	500	1,2	30
	4	Стельове	1,6	70-80	130-140	18-19	400	2,0	30
	4	Нижнє	1,6	120	200-220	19-20	650	1,2	100
	4	Вертикальне	1,6	120	200-220	19-20	850	1,2	30
	4	Стельове	1,6	120	200-220	19-20	390	2,0	30
	6	Нижнє	2,0	140	170-180	19-20	750	1,2	100
	6	Вертикальне	2,0	140	170-180	19-20	900	2,0	30
	10	Нижнє	2,0	160-180	250	20-22	650	1,2-2,0	100
	10	Стельове	2,0	160-180	250	20-22	600	1,2	100
Важкові	4	Вертикальне	1,6	80-90	140-150	20-22	500	1,2	30
	4	Стельове	1,6	80-90	140-150	20-22	400	2,0	30
	6	Нижнє	1,6	140-160	230-250	22-23	500	1,2	100
	6	Вертикальне	1,6	140-160	230-250	22-23	300	2,0	100
	6	Стельове	1,6	140-160	230-250	22-23	500	1,2	100
	6	Стельове	2,0	140-160	175-195	22-23	360	2,0	100
10	Нижнє	2,0	240-250	330-340	21-23	350	2,0	100	

Додатковий таблиці 12.3

Тип з'єднання	Товщина зварюваного металу, мм	Просторове положення шва	Діаметр електродного дроту, мм	Середній струм, А	Швидкість подачі електрода, мм/хв	Напруження дроту, В	Параметри імпульсу		
							амплітуда, А	тривалість, мс	частота, с ⁻¹
<i>Нікельтитульний сплав, електродний дріт марки Св-0812С (в суміші 20% Аr і 80% СO₂)</i>									
Стикові	3	Нижнє	1,6	140-160	150-170	18-20	360-380		
Куткові	4-5	Вертикальне	1,6	160-200	180-190	21-23	340-400	3,0	50
Важкові	4-6	Нижнє	1,6	220-230	250	25-27	420-430		
<i>Нікельтитановий сплав, електродний дріт марки Св-0812С, окислювальне покриття на поверхні дроту — надійний розчин суміші 7,3% Сr₂СO₃ і 7,2% Na₂СO₃ (у відносному ваг. поліаристотролі)</i>									
Куткові	3-4	Нижнє	1,6	220-260	190-200	23-25	530-600	4,5-5,0	100
Стикові	3-4		1,6	230-240	190-195	23-25	530-600	4,5-5,0	100
Куткові, важкові, шпалуси	5-6		1,6	230-310	225-240	25-27	630-700	3,0	100
Стикові, куткові, шпалуси	8-10		1,6-2,0	180-240	240	26-32	650-800	3,0	100
Куткові	4-6	Вертикальне зверху шпала	1,6	230-270	195-230	24-25	600-650	3,0	100
	4-5	Стельове	1,6	230-220	180-190	23-24	530-600	4,5-5,0	100

Примітка: Зварювання металів дуговою ванною А м з V-подібним розширеним кріпком за ГОСТом 14771-76.

12.14. КОВАЛЬСЬКЕ (ГОРНОВЕ) ЗВАРЮВАННЯ

Ковальське зварювання — це з'єднання двох або більше металевих деталей в одне ціле при високій температурі й тиску. Воно відбувається в умовах температури, близької до точки солідуса (1 400-1 450°C), при проковуванні зварюваних деталей, викладених одну на одну.

Першим технологічним процесом в історії техніки, за допомогою якого люди могли одержати нероздільні з'єднання матеріалів, було ковальське зварювання. При цьому процесі міцне зчеплення з'єднуваних поверхонь досягається за рахунок взаємної атомів.

За допомогою ковальського зварювання виконують різноманітні з'єднання деталей, виготовляють знаряддя праці, зброю. Особливо широке використання має художнє обробка металів, де ковальське зварювання займає провідне місце при виготовленні декоративних решіток, отворів, валиків, підставок тощо.

Ковальським зварюванням виготовляють вироби з чергуючими в певній послідовності шарами твердої та м'якої сталі, які мають самонагріваючу властивість. Колиють коваль виготовляють мечі з пізиринкової сталі (східна назва «дамаск»). Це був один з перших композиційних матеріалів на основі заліза. У наш час за принципом дамаска виготовляють матеріали для ракетно-космічної техніки. Одержання композинта за принципом дамаска зводиться до процесу з'єднання сталевих деталей з різним вмістом вуглецю ковальським зварюванням. Ця технологія межує з ювелірикою. Засновники сучасної булатної технології (булат — різновидність східної сталі) П. П. Ансей і В. І. Басов відмітили, що ковалькладає в роботу свою енергію та індивідуальний настрій.

Деталі під зварювання нагріваються в горні на кам'яному й деревному вугіллі, коксі, у газовій печі або з використанням електронагрівання. Для виготовлення композиційної деталі пластини або листи з низьковуглецевої сталі чергують із пластинами інструментальної сталі (рис. 12.13). Одну з пластин роблять довшою, щоб її можна було використати в якості рукоятки. На горняк пакет деталей прихвачують дуговим зварюванням. Пакет устатковують у печі так, щоб нагрівання проходило рівномірно. Для цього пакет в печі повертають, інколи викликаючи дугтя. Цей процес називають томлінням у горні. При цьому навколо деталі збільшують або зменшують інтенсивність горіння вугілля. Нижня частина деталі нагрівається сильніше за верхню, тому її повертають на 180° і посыпають кварцевим піском (флюсом). Коли пісок прилягне до поверхні, деталь знову повертають і покривають флюсом іншим бік.

При температурі 1 230–1 250°C флюс починає плавитися, а деталь — «тігтіння». В цей момент її необхідно крутити. При цьому температура досягає 1 300–1 400°C і вирівнюється за всією довжиною пакета. Важливо її прогріти так, щоб білий колір поверхні був чистим, без темних плям. Потім пакет витягають з горня і легкими ударами проковують, повертаючи на 180°. Процес зварювання проходить доти, доки поверхня пакета буде «закроюю». При подальшому зварюванні, з'являється дугтя і розшарування. При цьому зварювання необхідно повторити.

Якість зварювання перевіряють за такими способами:

- горні деталі зачищають на точилі і виявляють тріщини (поверхня має бути суцільною, без тріщин);
- швидко охолоджують і знову нагрівають деталь — при нерівностях з'являються бульки.



Рис. 12.13. Ковальське зварювання:

1 — інструментальна сталь,
2 — м'якші приквартки

12.15. ВОДНЕВО-КИСНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ

В Україні з 1992 р. введено виробництво гальваностатичних установок, в яких використаний принцип одержання воднево-кисневої газової суміші електролітичним розкладанням дистильованої води. Установки «Ефект 80», «Триумф 300», «Триумф» ЕВГ-600 призначені для газового зварювання зі швидким чорних, кольорових металів та їх сплавів, для вакуумованої обробки (гартування, відпалу, очищення, імпресія склоемалей та ін.), зварювання кварцевого скла.

До комплексу установок входять зварювальний пальник ГС-2, комплект мундштуків, ванни з ваннами довжиною 6 м, дуг NaOH для первинної заправки і запасні частини.

Перед запуском установи виготовляють і заливляють у бак 4 л електроліту, у гідролістор — 4 л води, в барьотер — 0,4 л бензину. При вмиканні через 5–10 хв установка виходить із робочий режим. При витраті дистильованої води і бензину доливають до рівня, вказаного на індикаторі.

Температуру шлуків регулюють шляхом збагачення суміші пуглеводними сполуками. При воднево-кисневому зварюванні забезпечується висока міцність і якість зварного з'єднання.

Установки рекомендуються для зварювання труб діаметром до 30 мм з конструкційних сталей, листового і сортового прокату товщиною до 3 мм з низьковуглецевої сталі, міді, латуні, алюмінію та їх сплавів. Надійність і простота в обслуговуванні дають можливість використовувати установки при ремонті складної побутової техніки, автомобілів, виготовленні ювелірних і художніх виробів, зубних протезів, заправлених ампул для медичних препаратів тощо.

Технічна характеристика установки:

- напруга змінної мережі 220 В;
- максимальна продуктивність для газової суміші 550 л/год;
- час безперервної роботи при продуктивності 555 л/год — 0,75 год; 300 л/год — 3,0 год;
- товщина зварюваної сталі: лист до 3 мм; прутки до 12 мм;
- габаритні розміри 560×302×195 мм;
- маса (без заправки) 50 кг.

12.16. ЗВАРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЗКЛЕПКАМИ

Зварювання електрозклепками використовують для з'єднання тонких листів із рамами з профільованого прокату, для приварювання шпильок тощо. Цей спосіб зварювання характеризується високою продуктивністю і зручністю при складанні крупногабаритних конструкцій.

Електрозклепками називають точкові шви, виконані зварювальною дугою плавким або неплавким електролізом (рис. 12.14).



Рис. 12.14. З'єднання електрозаклепками:

а — без отвори у верхньому листі; б — з попередній просвердлений отвором; в — зварювання двох листів з профільним електродом; г — кутові з'єднання

Зварювання електрозаклепками виконують у захищені газах, під шаром флюсу та відкритою дугою. Встановлені такі умовні позначення способів зварювання електрозаклепками:

- ЭУЗ — у вуглекислому газі з подачею електроди (при товщині верхнього листа від 0,8 до 22 мм);
- ЭЦЗ — в аргоні плавким електродом (при товщині верхнього листа від 0,8 до 22 мм);
- ЭНЗ — в аргоні неплавким електродом (при товщині верхнього листа від 0,5 до 3 мм);
- ЭФЗ — під флюсом (при товщині верхнього листа від 0,8 до 14 мм).

Зварювання виконують із проплавленням верхньої деталі зварювальною дугою або через отвір, який попередньо просвердлюють або проколюють.

При зварюванні плавким електродом під шаром флюсу можливе проплавлення верхнього листа товщиною до 12 мм без попереднього свердління отворів. При цьому застосовують силу зварювального струму 4 500–5 000 А і електродний дріт діаметром 14–16 мм. Використання великих зварювальних струмів і електродів великих діаметрів призводить до утворення крупної головки електрозаклепки при малому діаметрі її стрижня. Тому доцільно просвердлювати отвори при товщині верхнього листа більше 2–3 мм.

Зварювання електрозаклепками неплавким електродом дає можливість одержати шви без відселення і з більшою глибиною проплавлення металу. Листи товщиною 6 мм і більше зварюють графітовим електродом постійним струмом 400–700 А.

Після короткого замикання електроди на верхній лист (деталь) збуджується електрична дуга, під час горіння якої верхній лист проплавляється наскрізь, а нижній тільки частково. При цьому створюється зварна ванна, в якій перемішуються рідкий метал деталей і електроди. В міру розтавлення електроди, довжина дузи збільшується до її природного обриву, що автоматично припиняє процес зварювання. Утворений шлак легко відокремлюється від головки електрозаклепки.

Для зварювання рідким металом поперетньо просвердлених або пробитих отворів електрод подають у зону горіння дуги. Потім подача електроди припиняється, а дуга пририває горіти до природного обриву. Режими зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі наведені в табл. 12.4.

Таблиця 12.4

Режими зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі з проплавленням верхнього елемента

Товщина металу, мм		Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруж на дугі, В	Тривалість зварювання, с
верхнього	нижнього				
0,5		0,8	100–130	17–18	0,8–1,0
1,0		1,0	230–250	18–19	0,8–1,0
1,5		1,0	300–320	19–20	1,2–1,5
2,0		1,6	320–350	28–30	1,2–1,5
2,0		2,0	350–400	32–34	1,5–1,8
2,0	8,0	1,6	320–350	28–30	1,0–1,2
2,0	8,0	2,0	350–400	32–34	1,5–1,8
2,0	8,0	2,0	450–500	35–37	1,2–1,5
3,0		2,0	400–450	34–36	2,0–2,5
4,0		2,0	500–550	36–38	2,5–2,8
5,0		2,0	530–570	36–38	2,8–3,0
6,0		2,0	550–600	38–40	3,0–3,5

При зварюванні електрозаклепками використовують звичайні плавильні ванни-автомати для зварювання під флюсом, у захищені газах або спеціальні електрозаклепкові з штучним електродом.

12.17. КОМБІНОВАНІ ЛАЗЕРНО-ДУГОВІ ПРОЦЕСИ

Лазерно-дугове зварювання і різання виникло у другій половині 70-х років ХХ ст. в Англії. Розкривають гібридний і комбінований лазерно-дугові процеси. При гібридному способі лазерне випромінювання й електрична дуга сфокусовані в одній точці зварної ванни, а при комбінованому – в різних.

Лазерне випромінювання стабілізує горіння дуги і дозволяє збільшити швидкість зварювання або різання до декількох сотень метрів за годину, сприяє додатковому стисканню дузи і глибокому проплавленню металу. В свою чергу електрична дуга покращує термічний цикл лазерного зварювання, зменшує ймовірність утворення крихких загартованих структур у шві та зоні термічного впливу, зменшує частку дорогої лазерної потужності.

Для швидкісного зварювання тонких металів використовують комбіновано лазерне випромінювання з дугою неплавкого електроду (рис. 12.15). При зварюванні товстих металів можливе зварювання кореневого шва лазерним випромінюванням з одночасним заповненням розчищеної кромки металом плавкого електроду (рис. 12.16).

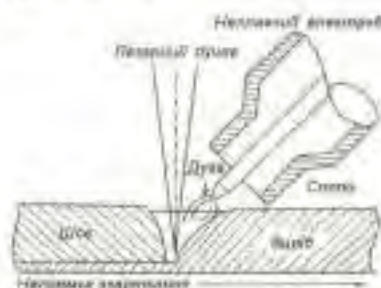


Рис. 12.15. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з неплавким електродом

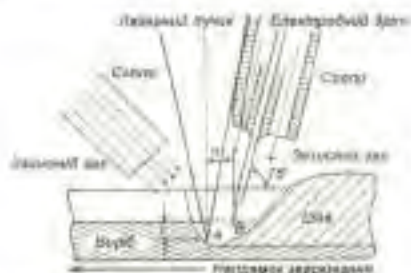


Рис. 12.16. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з плавким електродом

A|B — точки фокусу лазерного променя й дуги; F — відстань між точками фокусу

Суміщення для лазерного випромінювання і дуги глибокого електроду в середовищі захисного газу забезпечує якісне формування шва, знижує необхідну потужність лазерного випромінювання за рахунок заміни її потужністю електричної дуги, зменшує можливість виникнення тріщин, підвищує глибину проплавлення, в 1,5–2 рази збільшує швидкість зварювання. Геометрія та якість швів, виконаних лазерно-дуговым зварюванням наближається до геометрії й якості швів, виконаних лазером при меншій собівартості погонного метра шва.

12.18. КОМБІНОВАНИЙ ПРОЦЕС ТОЧКОВОГО ПЛАЗМОВО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Дугове точкове зварювання виконують плавким електродом з поперечним свердловинним і зенкувальним отвором у верхньому листі, діаметр яких перевищує діаметр електроду не менше ніж на 3–8 мм.

Технологічним є використання комбінованого точкового зварювання, яке передбачає: вискріпне проплавлення листів із використанням плазмотрона та наступне зварювання отриманих отворів дугою з плавким електродом. Живильні плазмозонні й дугові розряди здійснюють від окремих джерел живлення. Тривалість впливу плазми та дуги знаходиться в межах 3–10 с. Конкретну величину імпульсний струму й час зварювання вибирають залежно від позиції зварюваних металів.

Якщо плазмозонний струмінь і зварювальна дуга з плавким електродом діють в одну точку зварної ванни, то виникає гібридний процес плазмово-дугового зварювання. При комбінованому процесі плазмозонний струмінь і дуга знаходяться на відстані та створюють єдиний термічний цикл нагрівання.

Розміри отворів при плазмовому проплавленні отворів значною мірою залежать від витрат плазموутворюючого газу (аргону). При малих витратах газу (менше 0,8 л/хв) утворюються отвори малого діаметра (не більше 5 мм) з глибиною проплавлення до 2 мм. При більших витратах плазموутворюючого газу збільшується діаметр отвору і глибина проплавлення.

Точкові з'єднання, отримані комбінованим плазмово-дуговым зварюванням, характеризуються стабільною глибиною проплавлення деталей, відсутністю пор і тріщин, рівномірністю формування швів. Цю технологію зварювання використовують замість клепання й дугового зварювання неревними швами плавкими та неплавкими електродом.

12.19. ПРИВАРЮВАННЯ ШПИЛЬОК І СТРИЖНІВ

Особливість цього способу полягає у використанні шпильок або стрижнів в якості електроду. Спочатку між торцем шпильки (стрижня) та виробом збуджується електрична дуга й утворюється зварна ванна. Через декілька секунд, шпилька під впливом стисненої пружини швидко опускається вниз, утискуючись у зварну ванну, а зварювальний струм вимикається. Після кристалізації розплавленого металу утворюється міцне з'єднання між торцем шпильки і поверхнею деталі. Послідовність операцій при приварюванні шпильок і стрижнів показана на рис. 12.17.



Рис. 12.17. Послідовність операцій при приварюванні шпильок і стрижнів під флюсом

а — збудження дуги; б — утворення зварної ванни; в — стиснення шпильки у зварну ванну; г — зварне з'єднання; д — деталь; е — шпилька або стрижень; ж — електрична дуга; з — зварна ванна

У поздовньому положенні шпильки приварюються під флюсом, у вертикальному й стельовому положеннях для утримання розплавленого металу та примусового формування шва використову-

ються спеціальні флюсові або фарфорові кілци. Флюсові кілци виготовляють із амальгамних флюсів марок АН-348 А, ОСЦ-45, ФЦ-9 та ін. Фарфорові кілци виготовляють із кварцевого піску, глини, каоліну та інших речовин. Для зв'язування використовують різке скло, мастило або смоляне мастило.

Цим способом приварюють шпильки діаметром 4–36 мм постійним або змінним струмом від 200 до 5 000 А. Якщо діаметр шпильки більше 6–8 мм, то для розігрівання запалювання дуги кінці шпильки заточують на конус із кутом при вершині 90–120°.

Для приварювання шпильок і стрижнів використовують спеціальні пристрої різноманітних конструкцій.

12.20. ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ВОДОЮ

Підводне зварювання застосовують при будівництві гідротехнічних споруд, ремонті кораблів і підводних частин портових і нафтопромислових металевих конструкцій. Вперше дугове зварювання під водою запропонував і розробив К. К. Хренов (1932).

Зварювання під водою виконують плавкими штучними електродами, порошковим дротом і неплавким електродом. Для дугового підводного зварювання використовують електроди з товстим покриттям і гідростійкою екаліцією. Стрижень виготовляють з низьковуглецевої сталі, до складу покриття входять оксид титану, залізна руда, польовий шпат, феротитан, феромарганець, крохмаль і рідке скло. Гідроізоляцію здійснюють парафіном, розчином целулози в ацетоні або спеціальними лаками. Коефіцієнт покриття повинен бути в межах 0,35–0,40, а коефіцієнт наплавлення – 8–9 г/А·год.

Суть процесу зварювання під водою полягає в тому, що теплота дуги випаровує і розкладає воду, створюючи навколо дуги газову порожнину. На стійкість горіння дуги впливає втулка, що утворюється через запінення плавлення електродного покриття порівняно з плавленням стрижня. Вона сприяє збереженню газової порожнини, в якій горить дуга.

При зварюванні проходить поглинання теплоту дуги і зниження термоелектронної емісії, що затруднює запалювання дуги. Тому необхідно використовувати джерела живлення дуги змінного й постійного струму з більшою високою напругою холостого ходу (70–85 В). Сила зварювального струму вибирається на 10–25% вище, а напруга дуги – на 6–7 В більшою, ніж при роботі на повітрі.

Техніка зварювання під водою штучними електродами і порошковим дротом аналогічна зварюванню на повітрі. Зварюють у всіх просторових положеннях і до глибини, які обмежують можливості людського організму у водозатопленому спорудженні. При збільшенні глибини тиск води на газову порожнину і стовпа дуги зростає, що

сприяє підвищенню глибини проплавлення металу. Шви, отримані штучними електродами, мають пористість, низьку пластичність і міцність через негасивний вплив води. При зварюванні порошковим дротом щільність і міцність шва підвищують вимогам відповідальних виробів. Через тяжкі умови роботи при підводному зварюванні виникають дефекти: пропуски, зміщення осі шва, перерізані плавлені одрізи із кромок.

Для зварювання під водою використовують спеціальні електрододержачі з детально ізоляованою поверхнею. Перед роботою зварник повинен уважно перевірити вологість спорядження. Передній ілюмінатор водозатопленого колода повинен на 2/3 закриватися знизу світлофільтром. Зварювання починають тільки при наявності над водою чергового – проінструментованого працівника, який має двосторонній телефонний зв'язок із зварником. Поблизу чергового має бути телефон, автоматичний вимикач напруги джерела живлення і рубильник для вимкнення зварювальної установки від електромережі. Найперспективнішими видами підводного зварювання є дугове напівавтоматичне, плазмо-дугове і електронно-променеве.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть особливості плазмового зварювання.
2. Де застосовується дифузійне зварювання?
3. Як переваги електронно-променевого зварювання порівняно з дуговим?
4. Покажіть при визначенні ширини проплавлення у зварювальному виробництві.
5. Як є види контактного зварювання?
6. Вкажіть особливості дугового зварювання під водою.
7. Покажіть чре суть зварювання тертам і області його використання.
8. Характеризуйте основні процеси зварювання плавленням.

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

13.1. ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Продуктивність праці зварника можна підвищити за рахунок технічних та організаційних заходів, які дозволяють збільшити час горіння дуги протягом робочого дня на 10–15%. Для підвищення продуктивності застосовують прогресивні прийоми зварювання, вдосконалюють обладнання та інструменти, використовують спеціальні пристосування.

Заходи підвищення продуктивності дугового зварювання:

- вдосконалення конструкції електродотримачів, які дозволяють зменшити час на зміну електродів (час зміни електродів становить 7–10% робочого дня);
- використання пристосувань для швидкого кантування і повороту деталей в процесі зварювання;
- правильне розміщення обладнання та деталей на робочому місці;
- поділ окремих операцій на переходи її виконання їх у певній послідовності;
- організація зручного місця зварника (спеціальний стіл, поворотне крісло).

Продуктивність зварювання визначається кількістю розплавленого металу за одиницю часу. Для зменшення основного часу зварювання намагаються збільшувати зварювальний струм і коефіцієнт наплавлення та зменшувати поперечний переріз наплавленого металу.

Збільшення струму й об'єму розплавленого металу досягають, використовуючи електроди великих діаметрів (6–10 мм), спарені електроди, трифазну дугу та ін. При цьому збільшення сили струму досягається збільшенням площі поперечного перерізу електродних стрижнів. Збільшення маси електродів і електродотримачів призводить до втоми зварника. Тому ці способи в основному використовують для зварювання дефектів лиття і заповнення розчищених кромок великої товщини.

Коефіцієнт наплавлення підвищують, використовуючи електроди з високим залізного порошку в покритті. Зменшення площі поперечного перерізу наплавленого металу досягають за рахунок

відновлення розміщення кромок, використовуючи двобічний шліф кромок замість однієї сторони. Зменшення площі перерізу наплавленого металу за рахунок збільшення швидкості й площі проплавлення досягають зварюванням методом опирання.

13.2. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Для підвищення продуктивності зварювання покритими електродами застосовують вископродуктивні електроди, які містять у покритті залізний порошок. Завдяки цьому коефіцієнт наплавлення підвищується до 18 г/А·год порівняно з коефіцієнтом наплавлення 8–10 г/А·год для звичайних електродів. При зварюванні вископродуктивними електродами швид утворюється за рахунок металу електродного стрижня та залізного порошку покриття.

Продуктивність електродів характеризується кількістю електродного металу, який переходить на виріб за одиницю часу. До складу покриття електродів АНО-5, АНО-18 і ОЗС-6 входить 30–35% залізного порошку. Тож при діаметрі стрижня 4 мм вони дають вихід наплавленого металу 35–40 г/хв. Електроди АНО-1, АНО-19, ОЗС-3 при висоті 50–60% залізного порошку дають 65–70 г/хв наплавленого металу порівняно з 23–30 г/хв для звичайних електродів АНО-4, ОЗС-4, МР-3 та ін.

Недоліком вископродуктивних електродів є виконання зварювання тільки в нижньому й похилому (від кутів 15–20°) положеннях. Джерела живлення для зварювання вископродуктивними електродами повинні мати підвищену вапругу холостого ходу (не менше 65 В). Вископродуктивні електроди використовують для зварювання відповідальних конструкцій із тонкокувателених і вільколегованих сталей на змінному та постійному струмі прямої полярності.

13.3. ЗВАРЮВАННЯ З ГЛИБОКИМ ПРОПЛАВЛЕННЯМ (ОПИРАННЯМ)

Зварювання з глибоким проплавленням виконують опиранням електрода на поверхню виробу. Цей спосіб зварювання доцільно використовувати при виконанні кутових швів у положенні «в чашку» і стикових з'єднань. Для цього використовують електроди з особливо товстим покриттям. Стрижень електрода плавиться швидше за покриття і на кінці електрода з покриття утворюється втулка (дешлик). Опіраючи кончик електрода на поверхню виробу, зварник переміщує дугу вздовж шва. При плавленні покриття утворюється газ, які відтискають рідкий метал, утворюючи валок. При цьому

виріб проплавляється на велику глибину. Об'єм наплавленого металу у шві значно зменшується без зниження міцності з'єднання. Цей спосіб дає можливість зменшити глибину розчищення кромок, зварювати метал великої товщини без розчищення кромок, збільшити швидкість зварювання.

Після заповнення дуги зварник уставляє електрод під кутом 70–80° до площини шпору внапрямку його руху. Силу зварювального струму збільшують на 20–40% і викачують за формулою $I_{zw} = (60-70) d_e$. Збільшена потужність дуги, концентроване введення тепла, швидке переміщення електрода під кутом та інтенсивне штикування розплавленого металу зварної ванни тиском дуги створюють умови для глибокого провару й розбризкування.

Натікаючи на електрод, зварник переміщує його вадомж шва, опираючи утворений козирок у кромку металу. Зварювання виконують без поперечних коливальних рухів електрода.

Для зварювання з глибоким проплавленням використовують електроди марок ОЗС-3, АНО-9 та ін. з підвищеною товщиною покриття. Режим зварювання внаправленим стиковим з'єднанням без окосу кромок електродами ОЗС-3 наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Режими зварювання внаправленим стиковим з'єднанням без окосу кромок електродами ОЗС-3

Товщина металу, мм	Рекомендований ззор, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Глибина проплавлення, мм
<i>Одвоштанне зварювання</i>				
4	1,0	5	200	4
6	1,5	6	250	6
8	2,0	6	350	8
<i>Двоштанне зварювання</i>				
8	1,0	6	350	5
10	1,0–1,5	6	350	6
12	1,5–2,0	8	450	8
16	2,0–2,5	8	450	9

Для зварювання вертикальних швів зверху вниз використовують електроди марки АНО-9. У випадку зварювання куткових швів з катетом 8 мм застосовують електроди діаметром 4 мм. Швидкість зварювання при цьому становить 10 м/год; вона в 2 рази більша за швидкість зварювання електродами марки УОНИИ-13/55 діаметром 5 мм.

При зварюванні внаправленим електродами в кромки металу крім підвищення продуктивності зварювання одержують високу якість металу шва.

13.4. ЗВАРЮВАННЯ СПАРЕНИМ ЕЛЕКТРОДОМ, ГРЕБІНКОЮ ЕЛЕКТРОДІВ І ТРИФАЗНОЮ ДУГОЮ

13.4.1. Зварювання спареним електродом

Зварювання спареним електродом виконують двома стрижнями (електродами), з'єднаними між собою контактним точковим зварюванням (рис. 13.1 а). При зварюванні дуга переходить з одного стрижня на інший, по черговою оплавляючи їх. Електроди розташовують так, щоб загальна вісь співпадала з віссю шва, а при великому куті розчищення кромок була перпендикулярною до осі. Силу зварювального струму вибирають від 100–180 А при діаметрі електрода 3+3 мм до 300–400 А при діаметрі 6+6 мм.

Продуктивність зварювання підвищується за рахунок по черговою підігрівання кожного стрижня дугою, яка горить між сусіднім стрижнем і виробом, збільшення часу горіння дуги, зменшення часу на зміну електродів. Спареним електродом можна зварювати за один прохід метал товщиною до 12 мм. Продуктивність зварювання підвищується на 20–40% порівняно із зварюванням однострижневим електродом.

13.4.2. Зварювання гребінкою електродів

При багатоелектродному зварюванні електроди можна розташовувати по декілька стрижнів у ряд у вигляді гребінки (рис. 13.1 б). Електроди прихвачують до спеціальної пластини (гребінки), яку встановлюють в одворучковий електродотримач з рукояткою, напесеною в бік від корпусу і зварювального кабелю.



Рис. 13.1. Зварювання спареним електродом, гребінкою електродів і трифазною дугою:

а — схема спареного електрода; б — схема гребінки; в — зовнішній вигляд зварювального трифазною дугою; г — внутрішня схема зварювання трифазною дугою; 1 — захват електродів; 2 — трифазний трансформатор; 3, 4 — електроди; 5 — дуга

Дуга збуджується на електроді, який знаходиться на ближній відстані від зварюваного виробу. При плавленні цього електрода дуга переходить на другий стрижень і т. д. Розташовуючи електроду гребінку вздовж шва, можна глибоко проникати в розчищені кромки й

проділяється основний метал на велику глибину та одержувати висі- не формування шва. При цьому продуктивність зварювання підвищується у 2 рази порівняно із зварюванням звичайним електродом.

Зварювання гребінкою електродів використовують і при вапню- му дуговому зварюванні в спеціальних мідних, графітових або ста- левих формах, які запобігають витіканню розплавленого металу й формують шов.

13.4.3. Зварювання трифазною дугою

Продуктивність ручного дугового зварювання можна значно під- вищити, використовуючи трифазний струм. Для зварювання три- фазною дугою (рис. 13.1 *в, г*) використовують два електроди, до яких підводять дві фази від джерела живлення, а третю фазу — до зварю- ваного виробу. В момент зміни синусоїдного струму можуть горіти одна або дві дуги. При цьому виділяється велика кількість тепла і зростає швидкість плавлення металу. Продуктивність зварювання збільшується в 2–3 рази порівняно із зварюванням однофазною ду- гою.

Недоліком зварювання трифазною дугою є збільшення маси електродотримача, що призводить до втоми зварника. Тому кращі результати має механізоване зварювання трифазною дугою.

13.5. ЗВАРЮВАННЯ ЛЕЖАЧИМ І ПОХИЛИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Для зварювання лежачим електродом використовують спеці- альні електроди марок ОЗС-12, ОЗС-15Н і ОЗС-17Н типу Э-46. Електроди виготовляють діаметром 4, 5 і 6 мм, довжиною від 450 до 700 мм. Між розчищеними кромками зварюваних деталей уклада- ють один або декілька електродів, довжина яких у 2 рази більша за стандартні (рис. 13.2). Для уникнення витікання розплавленого металу при зварюванні стикових швів, застосовують мідні підкладки.

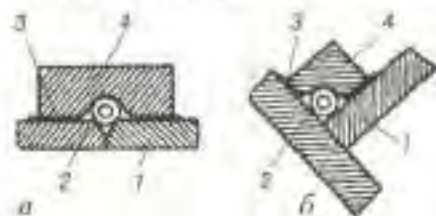


Рис. 13.2. Схема зварювання лежачим електродом:

1 — зварюваний метал; 2 — лежачий електрод; 3 — палереза (напіл); 4 — мідна колода

Кутіві шви зварюють без під- кладки. Зверху електроди при- тискають до кромки деталей мідною або бронзовою коло- дою. Дугу збуджують допо- міжним електродом, яка про- довжуючи горіти, розплавляє електрод та основний метал. Довжина дуги дорівнює тов- щині покриття електрода й становить 1,5–3 мм.

Зварювання лежачим електродом можна виконувати щод шаром флюсу. При цьому зварюють не тільки прямокутні, але й кри- волінійні шви. Продуктивність зварювання зростає за рахунок того, що один зварник може працювати на декількох постах.

Зварювання похилим електродом полягає в тому, що по- довлені покриті електроди красм покриття опирають у зварюва- ний метал і направляють по ньому за допомогою спеціального пристосування (рис. 13.3). Пристосування можуть установлюва- тись біля зварюваного металу або безпосередньо на ньому за до- помогою постійного магніту або іншого кріплення. Електрод кріпиться в електродотримачі, з'єднаному з кареткою, яка вільно опускається під власною масою в міру згорання електрода. Кут нахилу електрода в процесі зварювання залишається постійним. Запалювання дуги починають умиканням струму рубильником або за допомогою окремого електрода. Коли довжина електрода досягає 25–30 мм, спрацьовує вимикаючий пристрій і дуга роз- ривається.

Особливістю електродів є утворення при зварюванні на його кінці козирка з покриття. Цим козирком електрод упи- рається на зварюваний виріб, підтримуючи постійною до- вжину дуги. Постійність ро- зташування козирка (дощка) в процесі зварювання забезе- печується нанесенням покриття з високою концентрисністю. З метою збільшення часу плавлення електроди виго- товляють довжиною від 450 до 900 мм, діаметром 4, 5 і 6 мм.

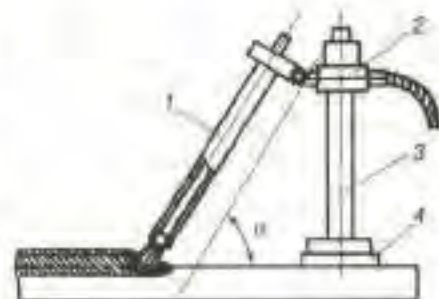


Рис. 13.3. Схема зварювання похилим електродом:

1 — електрод; 2 — обойма; 3 — штанга; 4 — ізолююча підкладка; α — кут нахилу електрода

Для забезпечення легкого збудження дуги на кінець електродів наносять іонізуюче покриття, а для попередження напливів у місцях стикування швів викорис- товують електроди із заглибленням на кінцях стрижнів. Для цього способу зварювання розроблені електроди марок ОЗС-12, ОЗС-15Н і ОЗС-17Н.

Техніка зварювання порівняно проста та не потребує великих витрат і тривалого навчання. Зварник може одночасно обслугову- вати декілька пристосувань і за 1 год зварювати близько 40 м шва. Зварювання похилим електродом, порівняно із звичайним дуговим зварюванням покритими електродами, підвищує продуктивність у 2–3 рази.

13.6. ЗВАРЮВАННЯ ПУЛЬСУЮЧОЮ ДУГОЮ

При зварюванні пульсуючою дугою швидкість і кількість введеної у виріб теплоти визначаються режимом пульсації дуги, що залежить від властивостей металу, його товщини та просторового положення зварювання. Пульсуючою дугою можна змінювати форму й розміри зварної ванни, впливати на зазнакові деформації, змінювати процес кристалізації металу.

Пульсуючій дугою дає можливість підібрати такий режим зварювання, який зменшує стікання рідкого металу в будь-яких просторових положеннях, збільшує провар, зменшує можливість пропалів, спрощує техніку зварювання, підвищує продуктивність, покращує якість зварювання та знижує вимоги до кваліфікації зварника.

При зварюванні плавким електродом на основний зварювальний струм дуги накладають короткочасні імпульси струму, що прискорюють плавлення кінця електрода, формують і відривають краплі металу. Оптимальним вважають режим, при якому кожний імпульс відриває краплю металу.

Пульсуючу дугу одержують за допомогою спеціальних переривників струму, тиристорних комутаторів, реле пульсації струму. Джерелами живлення можуть бути зварювальні перетворювачі й спеціальне обладнання з переривниками та регуляторами струму.

Продуктивність зварювання пульсуючою дугою збільшується на 10–15% порівняно із звичайним ручним дуговим зварюванням і на 70–80% порівняно з газовим зварюванням.

Контрольні запитання та завдання

1. Які можливості підвищення продуктивності ручного дугового зварювання?
2. Вкажіть особливості зварювання вископродуктивними електродми.
3. Як виконують зварювання з глибоким проплавленням (опиранням)?
4. Назвіть особливості зварювання спареним електродом.
5. Як підвищують продуктивність зварювання, використовуючи трифазний струм?
6. Як виконують зварювання безачим і похилим електродом?
7. Поясніть особливості зварювання пульсуючою дугою.

Розділ 14

ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ І ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

14.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ

Сталями називають сплав заліза з вуглецем (від 0,01 до 2,14%). Практично випускають сталі з вмістом вуглецю до 1,5%. Крім вуглецю в сталях є марганець, кремній, сірка і фосфор.

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють на низько- (до 0,25%С), середньо- (0,25–0,6) і високовуглецеві (0,6–1,5%С).

Для виготовлення зварних конструкцій використовують вуглецеву сталь звичайної якості, яку згідно ГОСТу 380-88 випускають таких марок Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3вс, Ст3сп, Ст3пс, Ст3ісп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5пс, Ст6пс, Ст6сп.

Цифри в позначках марок означають порядковий номер, індекс кп, пс і сп – ступінь розкиснення, Г – підвищений вміст марганцю (близько 1%). Із збільшенням номера марки від Ст1 до Ст6 вміст вуглецю в сталі зростає від 0,06–0,12 до 0,38–0,49%. Тому сталі з вищими номерами марок мають більшу міцність і твердість, але меншу пластичність. У сталі Ст0 вміст вуглецю не перевищує 0,23%.

За видом прокату сталь буває листовою, сортовою (кругла, квадратна та ін.), фасонна (кутник, таур, швелер тощо).

Арматурну сталь поділяють на пруткову, дрітвяну, гладку і періодичного профілю.

Якісні вуглецеві конструкційні сталі застосовують для виготовлення відповідальних зварних конструкцій. Згідно ГОСТу 1054-74 їх позначають двоцифровими цифрами, що означають вміст вуглецю в сотих частках відсотка:

- низьковуглецеві: 05,05кп, 08,08кп, 10пс...25;
- середньовуглецеві: 30,...55, 58 (58пс);
- високовуглецеві: 60,...85.

При підвищеному вмісті марганцю в позначення вводять букву Г. Леговані сталі крім постійних елементів містять спеціально введені для одержання необхідних властивостей легуючі елементи.

Залежно від вмісту легуючих елементів сталі поділяють на:

- низьколеговані (до 3%);
- середньолеговані (від 3 до 10%);
- високолеговані (більше 10%).

Леговані сталі позначають цифрами, які вказують вміст вуглецю в сотих частках процента і буквами, що вказують легуючі елементи. Цифри після букв вказують середній вміст елемента у відсотках. Якщо вміст елемента менше 1%, то цифри за буквою не ставлять. Буква А в кінці марки означає, що сталь високоякісна, а буква Ш – особливо високоякісна і вміст шкідливих домішок (сірки і фосфору) мінімальний. Наприклад, марка сталі 08Х13-Ш розшифровується так: вміст вуглецю 0,08%, хрому – 13%, Ш – особливо високоякісна.

Легуючі елементи позначають:

Б – ніобій;	В – вольфрам;	Д – мідь;
М – молибден;	Н – нікель;	Г – марганець;
К – кобальт;	С – кремній;	Ф – ванадій;
Т – титан;	Ю – алюміній;	Х – хром;
Ш – мартеніт;	А – азот;	Л – берилій;
Р – бор;	Ц – фосфор;	Ц – цирконій.

Залежно від марки сталей торці фарбують у такий колір:

червоний і зелений	– Ст0, БСт0, Ст1;
білий і чорний	– БСт1, Ст2, БСт2;
жовтий	– БСт2, Ст3, БСт3, БСт3;
червоний	– Ст4, БСт4;
чорний	– БСт4, Ст5, БСт5;
синій	– БСт5, Ст6, БСт6;
білий	– 08, 10, 15, 20;
білий і жовтий	– 25, 30, 35, 40;
білий і коричневий	– 45, 85;
коричневий	– 15Г, 40Г;
зелений і жовтий	– хромисті;
коричневий і синій	– марганцеві;
жовтий і чорний	– хромошкелеві;
зелений і фіолетовий	– хромомолибденові;
алюмінієвий і червоний	– високолеговані хромонікелеві;
алюмінієвий і синій	– високолеговані хромонікелетитанові.

14.2. ЗВАРЮВАНІСТЬ СТАЛЕЙ

Якісне утворення зварного з'єднання визначається властивостями зварюваних металів, їх хімічним складом, вибором електродного й присаджувального металу, режимами зварювання, температурою нагрівання та ін. На зварюваність значно впливає хімічний склад сталі. Зварюваність сталі змінюється залежно від вмісту вуглецю та легуючих елементів. Вплив окремих елементів проявляється по-різному, особливо в поєднанні з вуглецем.

Основні ознаки, що характеризують зварюваність сталей, – схильність до утворення тріщин і механічні властивості зварного з'єднання, які визначаються за допомогою зварювання контрольних зразків.

Знаючи хімічний склад сталі, можна визначити її зварюваність за еквівалентним вмістом вуглецю, який визначають за формулою:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10},$$

де цифри 20, 15 і 10 є постійними величинами, а символи кожного елемента означають максимальний вміст його в даній марці сталі у відсотках.

Одержаний за цією формулою еквівалентний вміст вуглецю вказує про зварюваність сталей, які умовно поділяються на чотири групи (див. підрозділ 4.7):

- добре зварювані сталі ($C_{екв}$ не більше 0,25%);
- задовільно зварювані сталі ($C_{екв} = 0,25-0,35\%$);
- обмежено зварювані сталі ($C_{екв} = 0,35-0,45\%$);
- погано зварювані сталі ($C_{екв}$ більше 0,45%).

Класифікація основних марок сталі за зварюваністю вказана в табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Класифікація основних марок сталі за зварюваністю

Група зварюваності	Марки сталей		
	вуглецеві	конструкційні леговані	високолеговані
Добра	Ст1вс, Ст1вс, Ст2вс, Ст2вс, Ст3, Ст4, 08, 10, 15, 20, 25	15ХА, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 15Х, 15НМ, 10ХСНД	08Х20Н14С2, 08Х23Н18, 03Х18Н13, 08Х18Н10
Задовільна	БСт5вс, 30, 35	12Х2Н4А, 12ХН2, 20ХГСА, 30Х, 15ХСНД, 25ХГСА	09Х14А, 12Х14А, 30Х13, 12Х17, 25Х13Н2
Обмежена	Ст6вс, Ст6вс, БСт6вс, БСт6вс, 40, 45, 50	35ХМ, 30ХГСА, 40Х, 40ХМФА, 40ХН, 20Х2Н4А	12Х18Н9, 17Х18Н9Т, 20Х18Н9, 20Х23Н18, 36Х18Н25С2
Погана	65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7+У13, У7А+У13А	50ХГ, 50ХГСА, 60ХС, 45Х13МФА	Х12, Х12М, 9ХС, 5ХГМ, ХВГ, 5ХНТХ

Добра зварюваність низьковуглецевих сталей характеризується м'яким зварним з'єднанням з основним металом без збільшення пластичності в біляшовній зоні і без тріщин у металі шва.

Зварюваність легированих сталей оцінюється можливістю одержання з'єднань, стійких проти утворення гартованих структур (і тріщин), зменшенням міцності, корозії то й ін.

Однорідні метали легко зварюються, а різнорідні — погано. За властивостями метал шва і метал зони термічного впливу є неоднорідними. Ознака поганої зварюваності — це схильність до утворення тріщин, які недопустимі у зварних з'єднаннях. Зварюваність металів характеризує схильність до перегрівання, гартування, утворення тріщин та інших дефектів, що утворюються при зварюванні.

Характеристикою зварюваності термічно зміцнених сталей є схильність до втрати міцності, яка проходить у зоні термічного впливу при температурах 400–720°C залежно від температури відпуску сталі у процесі її виготовлення на заводі.

Для виготовлення міцної зварної конструкції необхідно детально вивчити зварюваність сталі.

14.3. ВПЛИВ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗВАРЮВАНІСТЬ СТАЛЕЙ

Вуглець при вмісті в сталі до 0,25% зварюваність не погіршує. При більшому вмісті зварюваність погіршується, бо в зонах термічного впливу утворюються гартвані структури, що призводять до тріщин. Півпроцентний вміст вуглецю в присадкувальному матеріалі викликає пористість шва.

Марганець (Г) міститься в межах 0,3–0,8% і зварюваність не погіршує. При вмісті від 1,8 до 2,5% і більше викликає небезпека появи тріщин, тому що марганець сприяє загартуваності сталі.

Кремній (С) у межах від 0,02 до 0,35% трудношів при зварюванні не викликає. При вмісті від 0,8 до 1,5% зварювання утруднюється через високу рідкотекучість її утворення тугоплавких оксидів кремнію.

Ванадій (Ф) сприяє загартуваності сталі, що утруднює зварювання. При зварюванні ванадій активно окиснюється і випарює.

Вольфрам (В) підвищує твердість сталі та утруднює процес зварювання через сильне окиснення.

Нікель (Н) підвищує пластичність, міцність і зварюваність не погіршує.

Молібден (М) при зварюванні сприяє утворенню тріщин, активно окиснюється і випарює.

Хром (Х) утруднює зварювання, оскільки утворює тугоплавкі карбідні хромі.

Титан (Т) і **ніобій (Б)** при зварюванні з'єднуються з вуглецем і припиняють утворення карбідів хрому. При цьому зварюваність погіршується.

Мідь (Д) погіршує зварюваність, підвищує міцність, пластичність і корозійність сталі.

Кисень погіршує зварюваність сталі, знижує міцність і пластичність.

Азот (А) утворює хімічні сполуки із залізом (нітриди), які підвищують міцність, твердість і значно знижують пластичність сталі.

Водень є шкідливою домішкою. Він накопичується у шві та викликає появу пор і дрібних тріщин.

Фосфор (П) — це шкідлива домішка. Він підвищує твердість і крихкість сталі, викликає холодноломкість (холодні тріщини).

Сірка є шкідливою домішкою і сприяє утворенню гарячих тріщин. Зварюваність із підвищенням вмісту сірки різко погіршується.

14.4. ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Більшість зварних конструкцій виготовляють із низьковуглецевих сталей, які містять до 0,25% вуглецю. Вони відносяться до добре зварюваних сталей практично всіма видами зварювання плавленням. Низьковуглецеві сталі зварюються без обмежень при використанні типових зварювальних матеріалів (див. розділ 6).

Для забезпечення стійкості швів проти утворення тріщин і збереження високої пластичності метал шва, зварювальні матеріали повинні містити менше вуглецю, ніж основний метал, що компенсується додатковим легуванням шва кремнієм і марганцем. Механічні властивості металу біляшовної зони порівняно з основним металом можуть відрізнятися через певне зменшення металу в зоні перегріву. При зварюванні кінцях і напівспокоїних (старіючих) сталей на ділянці рекристалізації біляшовної зони можливе зниження ударної в'язкості. Метал біляшовної зони багатошарових швів крихкий від металу одношарових.

Зварювання низьковуглецевих сталей виконується без попереднього підігріву і наступної термообробки. При зварюванні низьковуглецевих сталей з верхньою межею вмісту вуглецю (0,27%) можуть виникати кристалізаційні тріщини в куткових швах, однобічних швах з лівним проваром кромки, першому шарі багатошарових стикових швів. У таких випадках використовують попередній підігрів до 100–150°C, особливо при виконанні перших шарів на товстому металі (більше 15 мм) і температура повітря швище мінує 5°C. Необхідність попереднього підігріву і можливої

термообробки має визначатися у кожному конкретному випадку. У конструкцій з кутовими переривами швами всі види термообробки, крім гартування, призводять до зниження міцності й підвищення пластичності металу шва. Відпуски або відпал добре зварюваних сталей використовують як включення для зняття внутрішніх напруг, уникнення жолоблення конструкції після зварювання та механічної обробки.

При товщині сталі понад 25 мм попередній підігрів обов'язковий у всіх випадках, незалежно від температури навколишнього середовища.

Зварювання сталі товщиною понад 20 мм виконують способами, що забезпечують зменшення швидкості охолодження секційні, каскадом, гіркою (див. підрозділ 7.8).

При виготовленні конструкцій із низьковуглецевих сталей широко використовують ручне зварювання покритими електродами. Залежно від відповідальності зварюваного виробу користуються електродами типів Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А. Електроди Э38 використовуються для виготовлення невідповідальних виробів, Э42 і Э46 – для відповідальних, а електроди Э42А, Э46А, Э50, Э50А – для особливо відповідальних виробів. При зварюванні сталі товщиною понад 15 мм і в незручних для зварника положеннях необхідно використовувати електроди з підвищеною міцністю наплавленого металу типів Э46, Э50, Э50А та ін.

Якщо необхідно одержати однакову міцність наплавленого та основного металу, то тип електрода підбирають за міцністю основного металу. Наприклад, сталь СтЗсп має границю міцності 380–440 МПа. Середня границя міцності становить 410 МПа. Вибирають тип електрода Э42, який забезпечує границю міцності наплавленого металу 420 МПа. Відповідно до типу електрода (Э42) вибирають його марку.

Низьковуглецеві сталі зварюють на максимально можливих режимах, які забезпечують високу продуктивність й високу якість зварного шва та з'єднання. Під якістю розуміють відсутність дефектів (газових пор, підрізів, відшарування металу шва, непровару, шлакових включень), а також одержання механічних властивостей, які відповідають технічним вимогам. Техніка й режими ручного дугового зварювання покритими електродами низьковуглецевих сталей розглянуті в розділі 7.

Для автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом низьковуглецевих сталей використовують дроти марок Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2, а також порошкові дроти марок ПП-АН1, ПП-ІДСК, ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН20 та ін. Орієнтовні режими механізованого зварювання сталей у вуглекислому газі, під флюсом і самозахисним дротом наведені в табл. 14.2–14.6.

Режими механізованого зварювання сталей у вуглекислому газі стикових з'єднань без скосу кромки

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Швидкість зварювання, м/год
<i>Однобічні шви</i>				
1	0,8	50–60	18–20	14–16
2	1	90–120	19–20	18–28
3–5	2	160–200	27–29	20–22
6–8	2	280–300	28–30	20–25
<i>Двобічні шви</i>				
3–5	2	160–200	27–29	20–22
6–8	2	280–300	28–30	25–30
10	2	280–320	30–32	22–30
12–14	2	300–340	32–34	20–22

Примітка. Вали електрода – 12–20 мм.

Режими механізованого зварювання сталей у вуглекислому газі V- та X-подібних стикових з'єднань (двобічні шви)

Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Швидкість зварювання, м/год
<i>V-подібне розташування кромки</i>			
18–26	280–300	28–30	16–20
	380–400	30–32	18–22
18–26	420–440	30–32	16–22
<i>X-подібне розташування кромки</i>			
12–18	380–400	30–32	16–20
20–26	420–440	30–32	16–22
28–40	440–460	32–34	16–22

Примітка. 1. Дані наведено для зварювання дротом діаметром 2 мм; виліт електрода – 12–20 мм.

2. У чисельнику – режими для першого проходу і підваротного шва.

Таблиця 14.4

Режими автоматичного та напіваавтоматичного зварювання у вуглекислому газі таврових з'єднань сталей без скосу кромки (двобічні та однібічні шви)

Категорія шва, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Випли електродів, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год
1,0–2,0	0,5–0,6	7–9	60–65	18–19	18–20
1,2–2,0	0,8	7–9	70–75	18–19	16–18
2,0–3,0	0,8	9–10	90–110	19–20	16–18
1,5–4,0	1,0	8–10	80–120	18–19	14–18
3–4	1,2	10–12	100–150	19–21	16–18
3–4	1,6	16–18	150–180	27–29	20–22
5–6	1,6	18–20	260–280	27–29	20–25
8–10	2,0–2,5	20–24	300–350	30–32	25–30

Таблиця 14.5

Режими механізованого зварювання сталей під флюсом

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Постійний струм зворотної полярності		Швидкість подачі електродного дроту, м/год	Швидкість зварювання, м/год	Допустимий зазор, мм	Тип з'єднання
		сила зварювального струму, А	напруга на дузі, В				
3	1,6	170–210	24–26	79–126	30–45	1,5	Стикове
3	1,2	130–170	24–26	56–91	25–40	1,5	Стикове
3	1,6	170–220	24–26	79–126	25–40	1,0	Таврове
4	2,0	180–300	24–26	79–156	18–26	2,0	Стикове
4	2,0	180–320	24–26	101–156	24–30	1,5	Таврове
5	2,0	270–350	26–28	126–156	18–24	2,0	Стикове
5	2,0	270–350	26–28	126–156	24–30	1,5	Таврове
6	2,0	300–400	26–28	156–306	18–24	3,0	Стикове
6	2,0	350–450	30–32	156–306	20–30	2,0	Таврове

Таблиця 14.6

Режими механізованого зварювання арматурних стрижнів відкритою дутою самозахисним дротом суцільного перерізу

Діаметр стрижня, мм	Вертикальні стики			Горизонтальні стики		
	діаметр дроту, мм	напруга на дузі, В	швидкість подачі електродного дроту, м/год	діаметр дроту, мм	напруга на дузі, В	швидкість подачі електродного дроту, м/год
20–22	1,6	24–25	186	1,6	29–30	241
25–28	1,6	25–26	215	1,6	29–30	241
32	1,6–2,0	26–30	253	2,0	30–32	312
36	1,6–2,0	26–27	253	2,0	30–32	312
40	1,6–2,0	29–30	274	2,0	30–32	312

14.5. ЗВАРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Середньовуглецеві сталі містять від 0,25 до 0,55% вуглецю. При такому вмісті вуглецю в процесі швидкого охолодження металу шва і близької зони виникають крихілі загартовані ділянки металу, великі внутрішні напруги, які спричиняють виникнення тріщин. Чим більший вміст вуглецю у сталі, тим сильніше вона загартовується при швидкому охолодженні, вища її крихкість і схильність до утворення тріщин.

Стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин досягається збільшенням кількості вуглецю в металі шва шляхом застосування електродних стрижнів і присаджувального дроту з підвищеним вмістом вуглецю, а також зменшенням частки основного металу в металі шва. Останнє досягається розширенням кромки і зварюванням на режимах, які забезпечують мінімальне проплавлення основного металу. Цьому сприяють електроди з великим коефіцієнтом наплавлення.

Для одержання пластичного металу шва і близької зони виконують попередній та супровідний підігрів, а також повільне охолодження зварного шва. Температура підігріву має бути тим вищою, чим більший вміст вуглецю в сталі і знаходиться в інтервалі 100–450°C. Попередній підігрів невеликих конструкцій проводять у печах (електричних, газових). Якщо конструкція масивна, то температуру підігріву підвищують із урахуванням деякого її охолодження в процесі транспортування і встановлення. У таких випадках використовують підігрів газовим пальником і газливою лампою. Температуру підігріву визначають за допомогою термодіянів і термофарб (див. підрозділ 7.1).

Для забезпечення надійної роботи зварної конструкції після зварювання рекомендується виконувати відпал і високий відпуск. Для цього необхідно відразу ж після зварювання помістити конструкцію у відпалювальну піч, нагріту до температури 675–700°C і після витримання повільно охолодити разом з піччю до 150–100°C з подальшим охолодженням на повітрі.

Зварювання середньовуглецевих сталей при температурі навколишнього середовища нижче 5°C не рекомендується, особливо при вмісті вуглецю більше 0,4% через можливість виникнення крихкості й тріщин.

Для підвищення пластичності металу шва та стійкості проти виникнення тріщин необхідно знизувати глибину проплавлення (діаметр електродів і струм), використовувати електроди типів Э42А, Э46А, Э50А. Кращі результати дає застосування електродів із фтористокальцієвим покриттям марок УОНИ-13/45 і УОНИ-13/55, які забезпечують достатню міцність і високу стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин.

Для уникнення труднощів, які виникають при зварюванні середньовуглецевих сталей, крім підігріву, використовують модифікування металу шва і дводугове зварювання в окремі ванни. При зварюванні необхідно уникати накладання низьких калібрів, зварювати короткою дугою, поперечні рухи змінити подовжними, критери обов'язково заварювати або виводити на технологічній пластині (в кратерах можливе утворення тріщин).

14.6. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Високовуглецеві сталі містять 0,6–2,14% вуглецю, а за зварюваністю до них відносяться й сталі з вмістом вуглецю понад 0,46%. Із таких сталей зварні конструкції, як правило, не виготовляють. Через високий вміст вуглецю вони відносяться до групи погано зварюваних сталей. Необхідність зварювання виникає при ремонтних роботах і наплавлюванні. У таких випадках виконують попередній, а інколи й супровідний підігрів з наступною термообробкою (підпад, відпуск). Режими нагрівання та охолодження визначаються вмістом у сталі вуглецю. Технологічні прийоми зварювання високовуглецевих сталей такі ж, як і для зварювання середньовуглецевих.

Зварювання високовуглецевих сталей при температурі навколишнього середовища важче 5°C і на протягах категорично забороняється.

14.7. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОЗМІЦНЕНИХ СТАЛЕЙ І СТАЛЕЙ ІЗ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Для виготовлення різноманітних конструкцій широко використовуються термозміцнені сталі, а також сталі із захисним покриттям. Сталі підвищеної міцності дають можливість зменшити товщину виробів. Зварювальні матеріали підбирають з урахуванням забезпечення однакової міцності металу шва і основного металу. Режими й техніка зварювання термозміцнених сталей такі ж, як і для звичайної вуглецевої сталі ідентичного хімічного складу. Основною трудностю при зварюванні є зменшення міцності ділянки біляшовної зони, яка піддається нагріванню до 400–700°C (проходить самовідпуск). Тому для термозміцнених сталей рекомендуються малопотужні режими зварювання та інші способи з мінімальним відведенням тепла в основний метал.

При зварюванні сталей із захисним покриттям можливе накладання його у зварювальну ванну, що призведе до утворення вор і тріщин. Тому із зварювальних кромek необхідно видаляти покриття. При зварюванні оцинкованої сталі частинки цинку запливають

на кромках і щоб попередити появу дефектів зварювання збільшують у 1,5 рази, швидкість зварювання зменшують на 10–20 %, електрод переміщують вздовж шва з подовжними коливальними рухами. Кращі результати одержують при використанні електродів з рутіловим покриттям, які забезпечують мінімальний вміст кремнію в металі шва. Зварювання виконують при наявності сильної місцевої вентиляції. Після закінчення зварювання необхідно відновити захисний шар покриття на поверхні шва і біляшовної зони.

14.8. ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Низьколегованими називають сталі, які містять до 3% легуючих елементів. Вони поділяються на швидкоуглецеві, телестійкі, середньо- і високовуглецеві. Властивості низьколегованих сталей регулюють за рахунок зміни вмісту вуглецю і легуючих елементів. При збільшенні вмісту вуглецю зварюваність сталі погіршується через ймовірність утворення саргених і холодних тріщин та збільшення об'єму, що призводить до підвищення внутрішніх напружень. Тому у зварних конструкціях в основному використовують швидкоуглецеві низьколеговані сталі підвищеної міцності, які містять до 0,25% вуглецю. Вони мають достатню міцність і відносно добру зварюваність. Основні легуючі елементи низьколегованих сталей – марганець, кремній, хром, молібден, нікель, мідь. Для зменшення зерен у біляшовній зоні сталей, які використовують у зварних конструкціях, їх додатково розкиснюють алюмінієм або титаном.

Низьколеговані сталі постачають у гарячкатаному стані або після нормалізації. Вони відрізняються за експлуатаційними властивостями і за чутливістю до процесу зварювання.

Легування сталі марганцем, кремнієм та іншими елементами сприяє утворенню в зварних з'єднаннях гартованих структур. Тому режими зварювання більш обмежені, ніж при зварюванні швидкоуглецевих сталей. Забезпечення однакової міцності металу шва і основного металу досягається за рахунок легування його елементами, які переходять з основного металу. Інколи для зменшення крихкості металу шва його додатково легують через зварювальний дріт. Стійкість металу проти кристалізаційних тріщин підвищують шляхом зменшення в металі шва вмісту вуглецю, сірки, фосфору та інших елементів за рахунок використання зварювального дроту з меншим вмістом указаних елементів і вибору оптимальної технології зварювання. Ручне дугове зварювання низьколегованих сталей виконують електродом з фтористо-кальцієвим покриттям типу Э42А, Э46А, Э50А марок АНО-1, УОНИ-13/45, УОНИ-13/35, СМ-11, ДСК-50 та ін. При зварюванні у вуглекислому газі в основному застосовують електродний дріт Св-08Г2С. Для покращення зовнішнього вигляду

шна, підвищення пластичності та продуктивності зварювання використовують порошкові дроти марок ШП-АН8, ШП-АН10 та ін.

Низьколеговані нізьковуглецеві сталі 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД при зварюванні не гартуються і не схильні до перегрівання. Тому їх зварюють у будь-якому тепловому режимі, аналогічному режиму зварювання нізьковуглецевої сталі.

Сталі з високим вмістом вуглецю типу 15ХСНД, 14ХГС, 15Г2Ф при зварюванні можуть утворювати гартвану структуру й перегріватися. Їх зварюють при знизжених значеннях струму електродами меншого діаметра порівняно із зварюванням нізьковуглецевої сталі. Якщо температура навколишнього середовища шквта -10°C , то потрібний попередній підігрів сталей до $120-150^{\circ}\text{C}$.

При температурі нижче мінус 25°C зварювання загартованих сталей забороняється.

Низьколеговані середньовуглецеві сталі типу 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА мають низку здатність до гартування. Тому їх перед зварюванням попередньо підігрівають до $200-300^{\circ}\text{C}$ і застосовують високий відпуск при $650-680^{\circ}\text{C}$ з витримкою протягом 1 год на кожні 25 мм товщини зварюваного металу.

При збільшенні вмісту вуглецю і легуючих елементів у низьколегованих сталях такого типу температуру попереднього підігріву збільшують, а відпал або високий відпуск зобов'язкові.

14.9. ЗВАРЮВАННЯ ЛЕГОВАНИХ ТЕПЛОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

Низьколеговані теплостійкі сталі характеризуються достатньою жароміцністю, жаростійкістю, запасом пластичності й стабільністю структури при температурах до 600°C . Підвищена міцність сталей при високих температурах досягається за рахунок зменшення легуючими елементами хромом, молібденом, ванадієм, вольфрамом, ніобієм. Вміст вуглецю у теплостійких сталях в основному не перевищує $0,08-0,12\%$.

До теплостійких відносять сталі марок 12МХ, 2Х1М1Ф, 20Х1М1Ф1ТР, 25Х1МФ, 20Х3МВФ, 15Х5М, 15Х5ВФ та ін. Ці сталі постачаються споживачам у стані після термічної обробки (гартування плюс високий відпуск і відпал).

Ручне дугове зварювання теплостійких сталей передбачає використання дев'яти типів електродів: Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М11ФВ, Э-10Х3М1ВФ, Э-10Х5МФ. Технологія зварювання передбачає попередній і супровідний застосування або завальний підігрів виробу до температури $200-450^{\circ}\text{C}$ для забезпечення однорідності металу шва з основним металом і термічну обробку – високий відпуск при температурі $650-750^{\circ}\text{C}$ для одержання однакової мікроструктури в усьому зварному виробі.

Зварювання теплостійких сталей покритими електродами виконують на тих же режимах, що й зварювання низьколегованих сталей. При зварюванні необхідно повністю проварити корінь шва, для чого перший шар виконують електродом діаметром 2-3 мм на постійному струмі зворотної полярності. Техніка зварювання аналогічна техніці зварювання нізьковуглецевих сталей. Багатощарове зварювання виконують каскадним способом без охолодження кожного виконаного шару шва.

У монтажних умовах підігрів і термообробка зварних виробів проводиться індукційним струмом промислової або підвищеної частоти. Час витримки при відпуску беруть із розрахунку 4-5 хв/мм товщини стінки деталі, а охолодження до температури попереднього підігріву ($200-450^{\circ}\text{C}$) має бути повільним.

Для зварювання теплостійких сталей у монтажних умовах при неможливості підігріву й термічної обробки використовують електроди АН-ЖР-2 (нікелеві), які придатні для зварювання у всіх просторових положеннях.

14.10. ЗВАРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

До середньолегованих сталей відносять сталі, які леговані одним або декількома елементами при їх вмісті 3-10%. Головною характеристикою цих сталей є механічні властивості: висока міцність, пластичність, в'язкість. Тому їх використовують в умовах ударних і знакозмінних навантажень, при низьких і високих температурах, в агресивних середовищах. При одержанні зварних з'єднань із необхідними властивостями виникають специфічні труднощі. Перш за все, при зварюванні сталей з підвищеним вмістом вуглецю та легуючих елементів, можливе виникнення гарячих і холодних тріщин у металі зварного з'єднання, а також нерівномірні механічні властивості металу шва й основного металу. Для подолання цих труднощів використовують сталі з необхідними механічними властивостями та низьким вмістом вуглецю й легуючих елементів, змінюють режим зварювання, використовують попередній та супровідний підігрів зварюваних кромок, підбирають електроди дроти з меншою температурою плавлення, виконують термообробку після зварювання для зменшення водю в основному металі й металі шва, проконують зварні з'єднання.

Ручне дугове зварювання середньолегованих сталей виконують низьководневими електродами з фтористо-кальцієвим покриттям на постійному струмі зворотної полярності. При зварюванні швів великого перерізу застосовують каскадний і блочний способи. Електродні матеріали підбирають таким чином, щоб їх хімічний склад максимально відповідав хімічному складу основного металу.

14.11. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Високолегованими називають сталі, які містять один або декілька легуючих елементів у кількості 10–50%. Якщо вміст легуючих елементів перевищує 50%, то замість слова сталь вживають слово сплав.

Високолеговані сталі та сплави класифікуються за системою легування, структурою й властивостями. За системою легування сталі поділяють на хромисті, хромонікелеві, хромомарганцеві, хромонікелемарганцеві та ін. Найпоширеніші високолеговані сплави: нікелеві, нікелехромисті, нікелехромовольфрамові й нікелехромкобальтові.

За структурою високолеговані сталі поділяються на мартенситні (09X16H4B, 11X11H2B2MФ та ін.), мартенситно-феритні (15X12BHМФ, 12X13 та ін.), феритні (08X13, 15X25T та ін.), аустенитно-мартенситні (07X16H6, 08X17H5M3), аустенитно-феритні (08X20H14C2, 08X18Г8H2T) й аустенитні (03X17H14M2, 03X16H15M3B, 12X18H9, 45X14H14B2M та ін.). У деяких аустенитних сталях нікель, як дефіцитний метал, частково або повністю замінюють марганцем та азотом (10X14Г14H3, 12X17Г9H4A й ін.).

За системою зміцнення високолеговані сталі та сплави поділяють на карбідні, які містять 0,2–1,0% вуглецю, боридні (утворюються бориди заліза, хрому, ніобію, молібдену, вуглецю й вольфраму), а інтерметалідним зміцненням (зміцнення дрібнодисперсними частинками).

За властивостями високолеговані сталі й сплави поділяють на корозійостійкі (нержавіючі), жаростійкі (не окиснюються при температурах до 1300°C), жароміцні (здатні працювати при температурах вище 1000°C без зниження міцності), стійкі проти спрацювання та ін.

Технологічні особливості зварювання високолегованих сталей пов'язані з їх фізичними властивостями і системою легування. Знижена теплопровідність (до 2 разів при підвищених температурах), збільшений коефіцієнт лінійного розширення (до 1,5 разів) і великий електричний опір (у 5 разів більший ніж у вуглецевих сталях) сприяють великій швидкості плавлення металу, великій глибині проплавлення та коефіцієнту наплавлення. Тому для зварювання високолегованих сталей зменшують величину зварювального струму на 10–20% порівняно з вуглецевими, використовують укорочені електроди з покриттям основного й змішаного типу (фтористо-кальцієві), зменшують вільт електрода та збільшують швидкість подачі дроту при механізованому зварюванні.

Для запобігання виникненню міжкристалічної корозії при зварюванні високолегованих сталей в металі швів створюють двофазну

структуру (аустеніт і ферит) для зменшення зерен, обмежують вміст шкідливих домішок (сірки, фосфору, свинцю, олова, бісмута), легують титаном, ніобієм, танталом, ванадієм, цирконієм (вони активно взаємодіють із вуглецем і перешкоджають утворенню карбідів хрому). Крім того використовують електродні покриття основного та змішаного типу. Для попередження виникнення тріщин створюють меншу жорсткість виробу, виконують попередній і супровідний підігрів до 250–300°C, обмежують вміст шкідливих домішок, вводять легуючі елементи (молібден, марганець, вольфрам), складають деталі із зазором (1,5–2 мм), зменшують розмір кування металу та об'єм аварної ванни.

Корозійостійкі сталі, які не містять титану, ніобію або ванадію при нагріванні вище 500°C втрачають антикорозійні властивості. Одержання антикорозійних властивостей, а також підвищеної пластичності та в'язкості досягають нагріванням металу до 1000–1150°C і швидким охолодженням у воді (сартуванням). Вміст вуглецю в основному металі до 0,02–0,03% повністю виключає міжкристалічну корозію.

Підігрів до 100–300°C обов'язковий для мартенситних сталей, а для аустенитних – використовується рідко. Високолеговані сталі з вмістом вуглецю понад 0,12% зварюються з попереднім підігрівом до 300°C і вище з наступною термічною обробкою. Шви краще виконувати тонкими електродами діаметром 1,6–2,0 мм або електродним дротом діаметром 1,2–2 мм при мінімально можливому зварювальному струмі.

При зварюванні корозійостійких сталей не допускається збудження дуги на основному металі і попадання брилок на основний метал. Складки, заглиблення, щілини, неповари можуть бути джерелом корозії. Краєву корозійостійкість мають гладкі шви з плавним переходом до основного металу. Не рекомендується зачищати шов пневматичним зубилом або іншим способом, при яких утворюються вм'ятини, задирки тощо. Для зменшення виторяння легуючих елементів зварювання необхідно виконувати короткою дугою без коливальних рухів кінцем електрода.

При зварюванні в аргоні деяких аустенитних сталей на межі сплавлення спостерігається утворення пор. Недопущення появи пор досягають введенням до аргону 2–5% кисню. Рента вимог такі самі, як і при зварюванні вуглецевих сталей.

Для зварювання високолегованих сталей і сплавів використовують зварювання плавленням усіх видів.

Ручне дугове зварювання покритими електродами виконують при знижених струмах $[I_{\text{н}} = (15 \div 35)d_e]$, на постійному струмі зворотної полярності, інтковими валиками без коливальних рухів короткою дугою. Використовують електроди із стрижнем такого ж хімічного складу, як і основний метал, з урахуванням показників

зварюваності та експлуатаційних вимог. Наприклад, при зварюванні кислотостійкої хромонікелевої сталі 12X18H10T для запобігання утворенню гарячих тріщин і міжкристалічної корозії використовують електроди типу Э-04Х20Н9 (марка ЦЛ-11) та Э-02Х19Н9Б (марка ОЗЛ-7).

Зварювання в інертних (інертних) газах виконують неплавкими і плавкими електродами. Зварювання плавкими електродами виконують в аргоні, а також у суміші аргону з гелієм. Використовуються також суміші аргону з киснем і вуглекислим газом. В окремих випадках допускається зварювання у вуглекислому газі при відсутності небезпечної міжкристалічної корозії. Зварювання плавким електродом проводять на струмах, які забезпечують струмінне перенесення металу. Зварювання в аргоні або гелії характеризується високою якістю зварних швів, стабільністю горіння дуги, добрим захистом швів від навколишнього середовища.

Аргонно-дугове зварювання вольфрамовим електродом виконують на постійному струмі прямої полярності. При зварюванні сталей з високим вмістом алюмінію використовують змінний струм, який горить руйнуванню оксидної плівки (Al_2O_3). Ключь приладжуваного дроту постійно повинен знаходитись у струмені захисного газу.

Зварювання під флюсом використовують для з'єднань металів товщиною 3–50 мм. Порівняно із зварюванням вуглецевих сталей, при зварюванні високолегованих у 1,5–2 рази зменшується вислі електродного дроту, використовуються електроди діаметром 2–3 мм на постійному струмі зворотної полярності з використанням безокислювальних нізкокремністих фтористих флюсів (АНФ-14, К-8 та ін.).

Більшість високолегованих сталей добре зварюються контактною зварюванням. Аустенітні сталі, як правило, зварюються плазмовим зварюванням.

14.12. ЗВАРЮВАННЯ РІЗНОРІДНИХ І ДВОШАРОВИХ СТАЛЕЙ

Для склепінні доріжніх високолегованих сталей використовують комбіновані конструкції, які виготовляють із декількох сталей. Зварювання високолегованих сталей з нізко- або середньолегованими та нуг лецевими не завжди забезпечує достатню міцність з'єднань. При зварюванні різнорідних сталей, які відрізняються між собою хімічним складом і пластичністю, у шві можуть з'явитися тріщини, а в зоні сплавлення часто проходить зміна структури з утворенням шарів, які суттєво відрізняються від структури зварюваних сталей. Ще однією особливістю є різний коефіцієнт лінійного розширення металів. Дві варіації цієї проблеми використовують зварювальні матеріали, які сприяють одержанню аустенітного

металу шва з високим вмістом нікелю. Нікель має здатність забезпечувати стабільну зону сплавлення металів. Вміст нікелю у металі шва залежить від температури експлуатації виробу.

Щоб зекономити нікель, зварий з'єднань різнорідних сталей поділяють на чотири групи: перша – це виробы, які працюють при температурах до 350°C; друга – 350–450°C; третя – 450–550°C і четверта – при температурі понад 550°C.

Першу групу різнорідних сталей зварюють існуючими електродами (крім електродів типу ЭА-1). Для зварювання різнорідних сталей другої, третьої та четвертої груп використовують електроди марок АНЖР-1, АНЖР-2 і АНЖР-3. Технологія зварювання різнорідних сталей така ж, як і при зварюванні інших сталей.

При аргонно-дуговому зварюванні сталей мартенситного класу Х15Н5Д2Т або аустенітно-феритного класу 1Х21Н5Т з міддю або хромистою бронзою Бр.Х05 товщиною 1–2 мм вольфрамовий електрод необхідно змідювати у напрямку міді на величину діаметра електрода. Це пов'язано з високою теплопровідністю міді і необхідністю одержання металу шва з високим вмістом міді для зниження схильності до тріщин.

Коли зварюють сталі Х15Н5Д2Т і 12Х19Н10Т з ванадієм, джерело нагрівання змідюють у бік більш тугоплавкого металу – ванадію для підвищення в металі шва вмісту ванадію до 40%. При зварюванні сплавів титану ОТ4 з ванадієм або сплавом ніобію ВН-2АЭ джерело нагрівання змідюють у бік більш тугоплавких металів, щоб вміст у металі шва ванадію і ніобію становив не менше 40%.

Одним із перспективних напрямів зварювання різнорідних металів є зварювання в твердо-рідкому стані, тобто розплавленні одного з металів, який має нижчу температуру плавлення. Хімічні зв'язки в такому з'єднанні утворюються в процесі змочування рідким металом поверхні твердого і з наступною дифузією. Цей спосіб можливий при зварюванні металів із високою різницею температури плавлення.

Широко використовується зварювання металів із розплавленням більш легкоплавкого металу та з нанесенням покриття на поверхню більш тугоплавкого металу. Зварювання алюмінію й сплавів на його основі з сталлями Ст3 і 12Х19Н10Т товщиною 4–6 мм з розплавленням алюмінію може здійснюватися з попереднім нанесенням гальванічним шляхом на поверхню сталі шару цинку товщиною 40–60 мкм з наступним алітуванням (настичення алюмінію).

При зварюванні ніобієвого сплаву з корозійостійкими сталлями на поверхню ніобію наносять шар ванадію товщиною 2–3 мкм із наступним розплавленням сталі.

Часто використовують зварювання різнорідних металів через проміжні вставки, які добре зварюються із з'єднувальною парою металів або через біметалеві вставки із з'єднуваних металів, одержаних під тиском.

При азарюванні сталі з титаном використовують проміжні вставки з ванадію. Спочатку при зварюванні сталі з ванадієм дугу зміцнюють у бік сталі, а при азарюванні титану з ванадієм – у бік ванадію.

При з'єднанні сталі з титаном використовують проміжні вставки із міді з боку сталі та ніобію з боку титану і пастушним зварюванням міді з ніобієм. Біметалеві вставки вказаних сплавів і сталей із стабілізаторами властивостями одержують зварюванням вибухом.

Свої особливості має зварювання двошарових сталей. Найчастіше вони складаються з низьковуглецевої сталі, покритої шаром корозійостійкої сталі. В якості антикорозійного шару використовують аустенітні сталі марок 08X18H10T, 08X17H13M3T та ін. За хімічним складом електроди повинні бути однорідні з металом плакованого шару. Наприклад, для сталі 08X17H16M3T використовують електроди з покриттям марки НЖ-16 і дріт марки Св-06X19H10M3T. Для зварювання аустенітними електродами застосовують постійний струм зворотної полярності. Найчастіше шов виконується спочатку з боку вуглецевої сталі, а потім наплавлений метал з боку плакованого шару захищається і зварюється вже плакований шар. Дугове азарювання двошарових сталей за технікою виконання швів аналогічне зварюванню одношарового металу.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікуються сталі за зварюваністю?
2. Назвіть особливості зварювання низьковуглецевих сталей.
3. Для чого виконують попередній підігрів сталей?
4. Які основи трудності азарювання середньовуглецевих сталей?
5. Що є причиною утворення пор і тріщин при зварюванні термочувливих сталей?
6. Який вплив легуючих елементів на зварюваність сталей?
7. Як типи електродів використовують для азарювання вуглецевих сталей?
8. Назвіть приклади марок електродів для азарювання вуглецевих сталей.
9. Як типи електродів застосовують при азарюванні чистих сталей?
10. Які технологічні особливості азарювання високовуглецевих сталей?
11. Як азарюють різнірідні і двошарові сталі?

15.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАВУНІВ

Чавуном називається сплав заліза з вуглецем, вміст вуглецю в якому становить від 2,14 до 6,67%. Практично застосовують чавуни з вмістом вуглецю до 4%. За структурою чавуни поділяються на білі, сірі й ковкі за хімічним складом – на леговані та нелеговані.

У білому чавуні вуглець хімічно зв'язаний у карбід залізо-цементит (Fe_3C), який дуже твердий і крихкий. Тому білий чавун не піддається механічній обробці та зварюванню; його використовують для одержання ковких чавунів.

Ковкий чавун одержують після тривалого (декілька діб) томління при температурі 900–1000°C з наступним повільним охолодженням. У результаті він втрачає крихкість, стає в'язким і здатним оброблятися. При цьому вуглець виділяється у вигляді пластинок вільного вуглецю, що розташовуються між кристалами чистого заліза. При нагріванні ковких чавунів вище 900°C графіт може утворити цементит і деталь утратить пластичності ковкого чавуну. Це утруднює зварювання, тому що чавун необхідно піддавати повному циклу термообробки (після зварювання). Ковкий чавун згідно ГОСТу 1215-79 позначають двома буквами КЧ і двома числами: перше вказує тимчасовий опір при розтягу в кгс/мм², друге – відносне видовження в процентах (КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ80-15).

Сірий чавун використовується в якості конструкційного матеріалу. У ньому більша частина вуглецю знаходиться у вільному стані (графіт). Сірий чавун добре обробляється. Температура плавлення становить 1100–1250°C. Чим більше вуглецю, тим нижча температура плавлення й вища рідкотекучість.

Марганець зв'язує вуглець і перешкоджає виділенню графіту. Цим сприяє надбілюванню чавуну. Марганець утворює сірчані з'єднання, першочинні в чавуні, які легко виводяться з металу в шлак. При вмісті марганцю більше 1,5 % зварюваність погіршується.

Кремній зменшує розчинність вуглецю у залізі, сприяє розпаду цементиту з виділенням вільного графіту. При зварюванні проходить окиснення кремнію, оксиди якого мають температуру плавлення вищу, ніж зварювальний метал, і тим самим погіршується процес зварювання.

Фосфор у чавунах підвищує рідинотекучість і покращує зварюваність, але знижує температуру кристалізації, підвищує твердість і крихкість. Вміст фосфору не повинен перевищувати 0,3%.

Сірка погіршує зварюваність чавуну, знижує міцність і сприяє утворенню гарячих тріщин. Сірчане залізо перешкоджає виділенню графіту й сприяє відбілюванню чавуну. Вміст сірки не повинен перевищувати 0,15%. Для нейтралізації сірки, вміст марганцю повинен бути в 3 рази більшим.

За ГОСТом 1412-85 марки сірого чавуну позначають буквами СЧ і числом, яке вказує границю міцності на розтяг у кгс/мм² (СЧ10, СЧ15...СЧ35). Високоміцний чавун одержують із сірого введенням у рідкий чавун при температурі не вищій 1400°C окисного магнію або його сплавів. Графіт у високоміцному чавуні має сферичну форму.

За ГОСТом 7293-85 марки високоміцного чавуну позначають буквами ВЧ і числом, яке вказує границю міцності на розтяг у кгс/мм² (ВЧ35, ВЧ40...ВЧ100).

Леговані чавуни мають спеціальні домішки хрому, нікелю, молібдену та ін., завдяки яким підвищується кислотостійкість, жароміцність, стійкість проти спрацювання, міцність при ударних навантаженнях тощо. За ГОСТом 7769-82 марки легованих чавунів позначають буквою Ч і наступними буквами, які означають умовні позначення легуючих елементів. Цифри після букв – вміст цих легуючих елементів у відсотках. Коли вміст легуючих елементів у чавуні становить 1%, то цифри не ставлять. Буква Ш у кінці марки означає, що графіт кулястої форми (ЧНХТ, ЧЮ22Ш, ЧП20Д2Ш, ЧХ9Н5).

Антифрикційні чавуни використовують для виготовлення підшипників ковзання, поєзунів, поршневих кілець, втулок. Згідно ГОСТу 1585-85 чавун буває сірий (АЧС-1...АЧС-6); високоміцний (АЧВ-1, АЧВ-2); ковкий (АЧК-1, АЧК-2).

Цифри означають порядковий номер марки за ГОСТом.

15.2. ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

Чавуни відносяться до категорії важкозварюваних сплавів. Труднощі при зварюванні зумовлені його хімічним складом, структурою та механічними властивостями.

Чавунні деталі, які тривалий час працюють при високих температурах, майже не піддаються зварюванню через окиснення вуглецю й кремнію під впливом високих температур (300–400°C і вище). При цьому чавун стає крихким і його називають горілим.

Погано зварюються чавунні деталі, які тривалий час знаходилися у контакті з маслом і газом. При цьому поверхня чавуну насичується маслом і газом, які при зварюванні згорають і утворюють ган, сприяючи появі пор у шві.

Зварюваність і властивості зварних з'єднань залежать від структури чавуну. Структура визначається хімічним складом і технологією (попередній підігрів, швидкість охолодження та ін.). Головний процес, який формує структуру – це графітизація (виділення вуглецю у чавуні). Вона є сприятливою тому, що виділення вуглецю у вільному стані зменшує крихкість чавуну. Всі елементи, які містяться у чавунах, поділяють на дві групи:

– графітизатори (сприяють графітизації) – С, Si, Al, Ni, Co, Cu;

– відбілювачі (зазтримують графітизацію і сприяють утворенню цементиту Fe₃C) – S, V, Cr, Sn, Mo, Mn.

Низька пластичність чавунів призводить до появи тріщин і напруг при зварюванні. Ці напруги можуть бути внутрішніми, які виникають при нерівномірному нагріванні та охолодженні, й зовнішніми, які виникають від перенавантажень при експлуатації виробу.

Ще однією труднощі зварювання є схильність чавуну гартуватись при швидкому охолодженні. На загартованих ділянках чавун стає твердим (800 НВ) і не піддається механічній обробці. Утворення гартованих структур супроводжується появою напруг та утворенням тріщин. Питома густина загартованої мікроструктури (мартеніт) значно нижча питомої густини заліза й ця різниця призводить до виникнення напруг і тріщин між зернами.

Здатність чавуну до відбілювання при швидкому охолодженні призводить до утворення відбіленого шару на металі шва та основному металі. Цей шар має низьку пластичність і під впливом розтягуючої сили, яка утворюється при охолодженні, разом із наплавленим металом відколюється від основного металу або спричиняє утворення тріщини.

Чавуни не мають тістоподібного стану при переході від рідкого стану в твердий, що утруднює його зварювання в різних просторових положеннях. Швидкий перехід з рідкого стану в твердий та висока температура плавлення (1142°) призводять до утворення пор. Тому гази (СО і СО₂) не встигають виділитись з металу.

Відмінність чавунних виробів за хімічним складом, термічною обробкою й будовою потребує використання різних технологій та способів зварювання. Високоміцні і ковкі чавуни (дрібнозернисті) зварюються краще сірих. Дрібнозернисті сірі зварюються краще крупнозернистих. Погано зварюються чорні чавуни, що на зломі мають крупнозернисту структуру темного кольору. Такі чавуни називають графітними, бо в них увесь вуглець знаходиться у вигляді вільного графіту.

Розрізняють такі способи зварювання чавуну:

– холодне (без попереднього підігріву);

– гаряче (з підігрівом до 600–700°C);

– напівгаряче (з підігрівом до 300–400°C).

Найкращі результати дає гаряче зварювання. При цьому зменшується швидкість охолодження металу, що забезпечує якість

графітизацію металу шва та відсутність відбілювання в біляшовній зоні, а також виключає можливість появи зварних напруг.

Спосіб холодного зварювання потребує менших затрат, але при накладанні валіка на холодну поверхню чавуну внаслідок швидкого відводу тепла в біляшовній зоні утворюються відбілені ділянки, а метал шва стає крихким.

Найпоширеніше зварювання чавуну плавким електродом, не-плавким вугільним електродом, газовим зварюванням. У якості приладжувального металу використовують низьковуглецеву сталь, чавун і кольорові метали (див. підрозділ 6.9).

15.3. ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

Для холодного зварювання чавунів використовують сталеві електроди із звичайним покриттям (УОНИ-13/45); сталеві електроди із спеціальним покриттям (ЦЧ-4); спеціальні електроди, що мають стрижки з мідно-нікелевих сплавів (МНЧ-1); залізонікелевих (ЦЧ-3А), міді (із залізним порошком у покритті – ОЗЧ-1), хромо-нікелевого сплаву з мідною оболонкою (АНЧ-1), чавуну з підвищенням вмістом нікелю (відчизнян) та зарубіжні Superfonte Ni); звичайні покриті електроди з використанням пшівлюк, шкерів і сталевих плавків; порошковий дріт; газове зварювання.

Використовуючи електроди з різних сплавів із покриттям різноманітного складу, можна одержати метал шва з необхідною міцністю й в'язкістю, але уникнути гартування в зоні плавлення при зварюванні без підігріву виробу не вдається. Можна тільки зменшити товщину загартованого шару, використовуючи багато-прохідне зварювання на малих зварювальних струмах.

Зварювання та наплавлення чавунів сталевими електродом виконують без підігріву з використанням зварювального дроту марок Св-08 і Св-08А. Використовують електроди з тонким і товстим (якісним) покриттям. Для відповідальних робіт використовують якісні електроди. Зварювання необхідно виконувати за такими правилами: мінімальне проплавлення чавуну за рахунок використання електродів малого діаметра та малих струмів; зварювання короткими ділянками довжиною 40–60 мм з перервами для їх охолодження до температури 60–80°C; послідовне накладання валіка на різних ділянках шва; підсилення шва останніми шарами за висотою й шириною.

Кращі результати одержують при використанні електродів УОНИИ-13/45 на постійному струмі зворотної полярності. Високої міцності зварного з'єднання при цьому не досягають. Через швидке охолодження чавун у зоні сплавлення відбілюється та загартовується, що утруднює наступну механічну обробку. Великі внутрішні напруги й крихкість металу призводять до утворення тріщин.

При такому способі зварювання можна досягнути задовільної обробки за рахунок підігріву основного металу, зниження частки основного металу у зварній шаві та повільного охолодження.

Найчастіше сталеві електроди використовуються для виправлення дефектів лиття з наступним шліфуванням наплавлених ділянок і декоративного наплавлення.

Зварювання чавунів електродом ЦЧ-4, ЦЧ-5 і СЧС-ТЗ виконують без підігріву, але якщо деталі масивні, то їх підігрівають до температури 150–250°C. Ці електроди призначені для холодного зварювання конструкцій з високоміцного, ковкого й сірого чавуну, а також у поєднанні з сталлями, для зварювання дефектів у відливках і для попереднього наплавлення першого шару на спрацьовані чавунні деталі під наступне наплавлення спеціальними електродом.

Електроди ЦЧ-4 складаються з сталевого стрижка (марки дроту Св-08 або Св-08А) із фтористо-кальцієвим покриттям (у покритті вміст ферокальцію доходить до 70%). Електроди ЦЧ-5 мають сталевий стрижок і покриття з графітизованими елементами. Для зварювання використовують постійний струм зворотної полярності або змінний струм від трансформатора з напругою холостого ходу не менше 70 В. Для діаметра електрода 3,0 мм сила зварювального струму становить 65–80 А, для 4,0 – 90–120 і для 5,0 мм – 130–150 А. Тимчасовий обр розриву дорівнює 480–510 Н/мм², твердість – 160–190 НВ. Продуктивність наплавлення для електродів діаметром 4 мм становить 18,0 г/хв; витрати електродів на 1 кг наплавленого металу – 1,80 кг. Перед зварюванням електроди просушують при температурі 350°C протягом години. Наплавлений метал відрізняється підвищеним вмістом ванадію (9,5%) і низьким вмістом вуглецю (до 0,15%).

Зварювання виконують невеликими ділянками довжиною 25–35 мм із наступним охолодженням на повітрі до 60°C. При зварюванні виробів з ковкого чавуну довжина валіка може бути збільшена до 80–100 мм. Для зменшення відбілювання чавуну в зоні сплавлення і для полегшення механічної обробки, глибша проплавлення має бути мінімальною.

При багатошаровому зварюванні перший шар виконують електродом малого діаметра (3 мм) у розкид із перервами, щоб температура виробу поблизу місця зварювання не перевищувала 50–60°C. Шар виходить тонким, пористим і з поверхневими тріщинами. Другий шар наноситься на перший поперечними валіками, тим самим на поверхні деталі у місці зварювання створюється шар сталі. Подальше зварювання може виконуватися електродом більшого діаметра, але також із перервами, щоб уникнути концентрації тепла в одному місці. Наступні шари створюють достатню ширину шва.

При зварюванні стикових з'єднань для збільшення загальної площі зв'язку наплавленого та основного металу шов рекомендується поширити на кромку деталі на ширину, рівну товщині деталі.

для зменшення напруг – використати проковування середніх шарів. Цей спосіб не можна використовувати для чавунних виробів, які використовують при температурах вище 100°C тому, що в місці зварювання можуть виникнути додаткові напруги (через різницю значень коефіцієнта температурного розширення сталі й чавуну), а це в свою чергу призведе до появи тріщин.

Зварювання чавунів електродами марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-1, ЗПЧ із чавунними прутками марок А і Б (табл. 15.1) виконують без підігріву або при напівгарячому зварюванні. Покриття електродів ОМЧ-1 містить 25% крейди, 41 графіту, 9 феромарганцю і 25% кварцового піску.

Таблиця 15.1

Хімічний склад і призначення чавунних прутків (ГОСТ 2671-80)

Марка	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Діаметр мм	Довжина мм	Призначення
А	3-3,6	3-3,7	0,5-0,8	0,08	0,08	0,05	0,3	4	250	Для газового зварювання для стрижня електродів при гарячому зварюванні крупногабаритних відливок із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
16	700									
Б	3-3,6	3,6-4,8	0,5-0,8	0,08	0,08	0,05	0,3	4	250	Для струнаних електродів при гарячому, напівгарячому, холодному зварюванні деталей сталеного профілю з плоским стінками і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
16	700									
Голову «Стандарт»	3-3,6	3-3,7	0,5-0,8	0,08	0,2-0,5	0,1-0,1	0,1-0,1	4	250	Зварювання в крутилобаритних відливках із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
16	700									
Шовку «Стандарт»	3-3,6	3-3,7	0,5-0,8	0,08	0,3-0,5	0,1-0,1	0,1-0,1	4	250	Зварювання деталей складної форми (дроблю) в тонких стінках і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
16	700									

При холодному зварюванні чавунними електродами вариний шов виходить неоднорідний через те, що важко забезпечити необхідну швидкість охолодження, при якій не відбувається відбілювання чавуну. Тому в різних перерізах шва виходять неоднорідної структури й твердисть. Цей спосіб зварювання не має широкого використання. Крайні результати при зварюванні чавунними електродами для підігріву до 300-400°C, тобто напівгаряче зварювання.

Холодне зварювання мідними й комбінованими мідно-сталевими електродами ОЗЧ-1, ОЗЧ-2, ОЗЧ-6, СТЧ-3 використовують для виробів, які працюють при незначних статичних навантаженнях для одержання щільних швів, зварювання дефектів чавунного лиття, при ремонті деталей без підігріву.

Мідно-залізні електроди ОЗЧ-1 складаються з мідного стрижня і покриття: 50% залізного порошку; 27 мармуру; 7,5 плавикового шпату; 4,5 кварцу; 2,5 феромарганцю; 2,5 феросиліцію; 6,0 феротитану та 0,5% соди. Вони придатні для зварювання в нижньому й похилому положеннях на постійному струмі зворотної полярності. Метал шва пластичний, щільний та міцний. Зварюють обережно, щоб не допустити крихкого загартованого шару й тріщин. Механічна обробка утруднена та виконується твердосплавним інструментом. Наплавлений метал складається з 89% міді і 11% заліза. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 35А на 1 мм діаметра електрода. Зварюють короткою дугою невеликими ділянками довжиною 30-60 мм з очищенням і проковуванням кожного валика. Після обриву дуги зварювання продовжують при охолодженні металу шва до температури 50-60°C. Використовують електроди діаметром 4-7 мм.

Широке використання мають **комбіновані мідно-сталеві електроди**: мідний стрижень із сталевим сплетінням, сталевий стрижень із мідною оболонкою, пучок з мідних і сталевих електродів. Комбіновані електроди виготовляють з міді будь-якої марки. На мідний стрижень діаметром 4-7 мм і довжиною 300-350 мм накручується сталеві спіраль, нарізана у вигляді смужок ширинною 5-10 мм. Якщо між витками спіralі буде невеликий інтервал, то заліза в електроді буде не більше 8-12%. На підготовлені стрижні наносять крейдове, УОНИ-13/45 або інше покриття.

При зварюванні пучком електродів відбілювання першої ділянки біляшовної зони повністю не усувається. Крайні результати одержують, коли в пучок додають стрижень із монель-металу або латуні діаметром 2-3 мм. Щоб уникнути затікання розплавленого металу наперед дуги, електрод розташовують під кутом 50-70° у напрямку зварювання.

Плавлення комбінованого електрода і сплавлення його з чавуном створює умови для одержання якісного шва, тому що мідь не з'єднується з вуглецем – вона залишається пластичною і в'язкою, а сталь науглекислюється, що підвищує її міцність.

Зварювання чавунів міднонікелевими і міднокобальтовими електродами МНЧ-1, МПЧ-2 виконують без підгіриву. Мідно-нікелеві електроди складаються з дроту монель-металу (НМЖМц) хімічний склад якого: 28% міді, 2,5 заліза, 1,5% марганцю, решта – нікель або константанового дроту (40% нікелю, 1,5% марганцю, решта – мідь) і фтористокальцієвого покриття (40% графіт, 60% крейда або мармур). Наплавлений метал це залізоміднонікелевий сплав із твердістю НВ135, у перехідній зоні – НВ160, що дозволяє вільно проводити механічну обробку. Недоліком електродів є не забезпечення високої стійкості проти виникнення вор і тріщин. Тому зварювання виконують короткими дугами валиками довжиною 15–20 мм. Після обриву дуги валик проковують і відновлюють зварювання після його охолодження до 50–60°C. Електроди для зменшення вологості просушують при 150–200°C протягом 1–1,5 год. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності електродами діаметром 3–5 мм і силі зварювального струму 90–190 А.

Залізонікелеві електроди ЦЧ-3А призначені для зварювання високоміцного матієвого чавуну з кулястим графітом і сірого чавуну. Електроди ЦЧ-3А складаються з дроту Св-08Н50 і фтористокальцієвого покриття. Наплавлений метал містить 0,3% вуглецю, 5,25 кремнію, 50% нікелю. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності з мінімальним проплавленням чавуну на понижених режимах з розрахунку 30 А на 1 мм діаметра електрода. Рекомендується зварювати короткими швами довжиною 70–100 мм, через 20–30 мм виконувати повторно-зворотної рухи електродом. Після накладання кожного шва необхідне проковування металу в гарячому стані і охолодження до 50–60°C. Електроди забезпечують високу міцність і відсутність тріщин зварного з'єднання та задовільну механічну обробку.

Зварювання чавунів міднохромонікелевими електродами АНЧ-1 розроблено Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона. Електроди виготовляють з дроту марок Св-04Х19Н19 і Св-04Х19Н9Т, оболонка з червоної міді марки М2 або М3, покриття фтористокальцієве. Наплавлений метал містить 0,13% вуглецю, 4,5 хрому, 2,5 нікелю, 0,65 марганцю, 0,4% кремнію, решта – мідь і залізо. Використовують постійний струм зворотної полярності з розрахунку 30 А на 1 мм діаметра електрода. Зварюють короткими ділянками з проковуванням у гарячому стані відразу після обриву дуги. Перед зварюванням наступної ділянки деталь охолоджують до 40–50°C. Електроди просушують протягом 1 год при температурі 300–350°C. При холодному зварюванні механічна обробка задовільна.

Зварювання чавунів сталевими електродами з встановленим шпильок використовують для підвищення міцності зварних з'єднань при ремонті відповідальних крупногабаритних чавунних виробів – станин, рам, проништейнів та ін. Для цього застосовують сталеві шпильки, які вкручують на різьбі в кромки з'єднуваних

деталей. Вони призначені для об'єднання металу шва з чавуном і передати зусилля від шва до маси основного металу, які не віддалася термічному впливу, випустили крізь ділянку біляшовної зони.

При зломі виробу з товщиною стінки до 12 мм шпильки можна вкручувати без розчищення кромки. При товщині більше 12 мм виконують V- або X-подібне розчищення під кутом 90°. Якщо на поверхні виробу не допускається виступ наплавленого металу, то розчищення кромки виконують так, як показано на рис. 15.1.

Канавку вирубують на глибину 6–20 мм залежно від товщини виробу. Діаметр шпильок залежить від товщини зварюваного виробу: при товщині до 12 мм діаметр шпильок повинен бути не більше 6 мм. Діаметр шпильок приймають рівним 0,15–0,25 товщини деталі, але не менше 3 мм і не більше 16 мм. Відстань між шпильками становить $(3-4)d$ (d – діаметр шпильок), відстань від шпильок до кромки – $(1,5-2,0)d$, глибина вкручування шпильок – $1,5d$, висота частини шпильки, яка виступає, – $(0,8-1,2)d$. При свердлінні отворів і шлізуванні різьби для шпильок не можна використовувати масло. Шпильки вкручують до упору.

Зварювання виконують на малих струмах сталевими електродами діаметром не більше 3–4 мм з тонким покриттям або покриттям УОНИ-13/45. Спочатку шпильки обварюють кільцевими швами крізь ділянку для рівномірного нагрівання деталі. Після обварювання шпильок до дотику кільцевих валиків між собою, виконують наплавлення ділянок між обвареними шпильками також уривками. Довжина кожного валика не повинна перевищувати 100 мм. Другий шар валиків наноситься перпендикулярно напрямку валиків першого шару. Після наплавлення на кожну сторону поверхні кромки зварюють порожнину розчищення і тріщини. При зварюванні деталей великої товщини для зменшення кількості наплавленого металу доцільно використовувати додаткові сталеві зв'язки різних форм і розмірів (рис. 15.2). Зв'язки і проміжки між ними проварюються не повністю. Зверху вся поверхня зварного з'єднання покривається наплавленим металом.

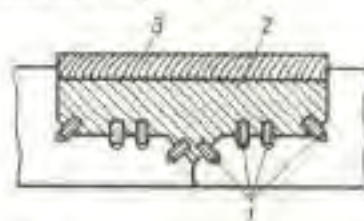


Рис. 15.1. Підготовка чавунного виробу до холодного зварювання з сталевими шпильками: 1 – сталеві шпильки; 2 – сталевий за'їдок; 3 – наплавлення електродом

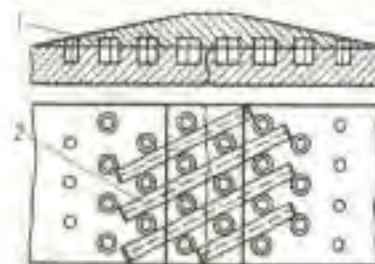


Рис. 15.2. Схема розташування сталевих зв'язок у металі шва при холодному зварюванні чавуну: 1 – шпильки; 2 – сталеві зв'язки

Флюси для зварювання чавуну вугільним електродом

Номер флюсу	Склад, %
1	100 плавленої бури
2	100 прокаленої бури
3	100 технічної бури
4	56 прокаленої бури, 22 вуглекислого натрію, 22 вуглекислого кальцію
5	50 технічної бури, 50 двоувуглекислого натрію
6	23 плавленої бури, 27 вуглекислого натрію, 50 натрієвої селітри
7	50 прокаленої бури, 50 натрієвої селітри, 4 газу (понад 100)

Холодне зварювання чавуну електродом з установленим шнурком може виконуватися у будь-якому просторовому положенні без демонтажу всього виробу. При цьому з'єднання одержують міцними, але не завжди щільними.

Механізоване зварювання чавунів виконують сталевим і порошковим дротами. Зварювання чавуну в середовищі CO_2 тонким дротом марок Св-10ГС або Св-08Г2С виконують при малій потужній енергії. Для дроту діаметром 0,8–1,0 мм зварювальний струм становить 50–75 А, напруга на дузі – 18–21 В, швидкість зварювання – 10–12 м/год. Зварюють короткими швами довжиною 25–30 мм. Після наплавлення першого каліка відшліфують його шліфувальним папкі у тому ж напрямку. Зварювання у вуглекислороді газі використовують для з'єднання труб із сірого чавуну, при зварюванні високоміцного чавуну та чавуну з сталлями.

Зварювання чавунів порошковим дротом марок ППЧ-1, ППЧ-2 і ППЧ-3 дозволяє в широких межах регулювати склад наплавленого металу. Порошковий дріт ППЧ-1 використовують для холодного зварювання чавунних деталей, які мають дефекти розміром до 100 см², розташованих у некорстокому контурі (відбиті частини, дефекти на виступаючих частинах відливки). Зварюють на постійному струмі прямої полярності і з мінімальною швидкістю охолодження виробу. Для зварювального дроту діаметром 2,8–3,0 мм установлюють зварювальний струм 280–300 А, напругу на дузі – 28–32 В, швидкість подачі дроту – 4 м/год.

У випадках, коли неможливо зменшити швидкість охолодження металу внаслідок, використовують попередній підігрів до температури 100–150°C.

Порошковий дріт ППЧ-2 має кращі технологічні властивості. При зварюванні на підвищених режимах покращується розчинність шпихти і рідкогенність зварної ванни. Порошковий дріт ППЧ-3 призначений для гарячого зварювання чавуну. Деталі попередньо нагрівають до температури 550–650°C. При діаметрі дроту 3 мм установлюють зварювальний струм 400–450 А, напругу на дузі – 36–40 В.

Для зварювання та наплавлення чавунів широко використовуються самозахідні порошкові дроти марок ПАНЧ-11, ППЧН-7, ППЧМН-8 та ін. (див. підрозділ 6.2).

Зварювання чавунів вугільним електродом виконують із застосуванням чавунних присаджувальних прутків марок А і Б. Для видалення оксидів кременію при зварюванні вугільною дугою використовують такі ж флюси, що й для газового зварювання. Основним флюсом є технічна безводна бура, яку перед зварюванням просушують при температурі 400°C і розтирають у порошок (табл. 15.2).

Флюси призначені для видалення із зварної ванни оксидів розчинених і переведенням їх у легкоплавкі шлаки, а також для покращення зчеплення між розплавленим і основним металом.

Чавунні прутки занурюють у зварну ванну тільки після нагрівання їх кінців до температури світло-червоного кольору, а витягують із ванни рідко і тільки для нанесення флюсу.

Основний метал і присаджувальний пруток плавляться під флюсом. Флюс, попадаючи у зварну ванну, запобігає окисненню кромки металу, виводить оксиди і неметалеві домішки з розплавленого металу, а також сприяє утворенню плівки, яка захищає його від впливу повітря.

Похитливий вплив флюсів проявляється також у покращенні змочування поверхні металу рідким присаджувальним металом.

Попередній загальний підігрів деталі і місцевий підігрів дугою або іншими нагрівальними пристроями сприяє зняттю твердості металу шва і зони сплавлення. Зварюють електродом діаметром 8–20 мм на постійному струмі прямої полярності (табл. 15.3).

Таблиця 15.3

Режими дугового зварювання вугільним електродом

Товщина зварювальної деталі, мм	Діаметр вугільного електрода, мм	Зварювальний струм, А
6–8	6–8	180–240
8–10	6–8–10	190–300
10–12	8–10–12	220–360
12–18	10–12	240–450

15.4. ГАРЯЧЕ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

При гарячому зварюванні чавунів виробні поверхонь нагрівають до температури 600–700°C. Для зварювання крупних конструкцій застосовують місцевий підігрів. Гаряче зварювання можна використовувати для виробів обмежених розмірів і маси (до 2,5 т).

При підготовці дефектів до зварювання їх детально очищають від забруднень, розчищають кромки для кращого доступу зварювальної дуги, виконують формування для запобігання витіканню металу із зварної ванни. Формування виконують графітовими й вугільними пластинами, скріпченими формувальною масою із кварцового піску. Форму просушують із поступовою зміною температури від 60 до 120°C. Щоб зашорити збільшення тріщин їх кінці засвердлюють. Неглибокі тріщини зварюють без розчищення кромки (до 5 мм), а при більшій глибині їх повністю розчищають.

Вироби підігрівають у печах, горнах, спеціальних нагрівальних ямах до температури 600–700°C, а в деяких випадках і до 850°C. Нагрівання до таких високих температур необхідне для зменшення швидкості охолодження металу шва і надання йому відносно високих пластичних властивостей та можливості виконання механічної обробки.

Зварювання виконують електродами ОМЧ-1, які складаються з чавунного стержня марки Б і спеціального покриття товщиною 1,2–1,5 мм. Зварювання виконують на змінному або постійному струмі прямої полярності при підвищених режимах (900–1000 А) окремими ваннами. Після кристалізації звареної ділянки графітова пластинка переставляється і зварюється наступна ділянка — і так без тривалої перерви до закінчення зварювання.

Охолодження виробів виконується з низькою швидкістю інколи протягом 3–5 діб. Підготовка до охолодження полягає у тому, що після закінчення зварювання поверхню металу шва засипають шаром дрібного порошку деревного вугілля, а весь виріб з усіх сторін закривають азбестовими листами та сухим піском або охолоджують у печі.

При дуговому зварюванні метал зварної ванни підтримують у рідкому стані до повного заповнення дефекта або деформованого місця. Це забезпечує найбільш повне виділення газів і неметалічних включень із металу шва й рівномірну структуру в металі шва та ближній зоні.

Якість з'єднання деталей і температура визначаються формою зварювальної ванни. Випукла поверхня ванни (рис. 15.3 а) вказує на погане з'єднання.

У цьому випадку зварник повинен збільшити нагрівання стінок виробу. Коли ванна надто гаряча, розплавлені стінок інтенсивно й

утворюється характерне підірвання стінок (рис. 15.3 б). Тоді дугу переносять у центр ванни, температуру ванни зменшують шляхом додавання дрібних уламків чавуну, стержнів та ін.

Правильний процес зварювання характеризується увітнутою поверхнею зварної ванни (рис. 15.3 в) без підірв. з рідкий чавун добре змочує стінки деталі.

Багатошарове зварювання використовується у випадках, коли неможливо підтримувати всю ванну у рідкому стані.

Зварювання чавунів із нагріванням до 250–400°C називають напівгарячим і використовують коли необхідно виправити невеликий дефект сльдиної деталі або дефект, розташований на масивній деталі в такому місці, де сворочення від нагрівача при зварюванні не зустрічає великого опору. За технікою виконання й використанням матеріалів напівгаряче зварювання не відрізняється від гарячого.

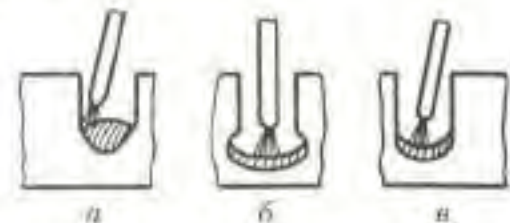


Рис. 15.3. Форма зварювальної ванни залежно від температури й нагрівання:
а — холодна, б — перегріта, в — нормальна

Контрольні запитання та завдання

1. Які труднощі зварювання чавунів?
2. Чому погано зварюються чавунні, які тривалий час знаходилися у контакті з мазлом і газом?
3. Які способи зварювання чавунів?
4. Назвіть марки електродів для холодного зварювання чавунів.
5. Як виконують зварювання чавунів сталевими електродами з ацетиленовим штильком?
6. Які марки дроту використовують для механізованого зварювання чавунів?
7. Як зварюють чавунні вугільним електродом?
8. Які електроди використовують для гарячого зварювання чавунів?
9. Чому виконують довільне охолодження чавунів?
10. Яке зварювання чавунів називають напівгарячим?

ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ

16.1. ЗВАРЮВАННЯ МІДІ

Мідь широко застосовують при виготовленні виробів різного призначення: трубопроводів, хімічної апаратури, електричних пристроїв та ін. Широке використання міді пов'язане з її особливими фізичними властивостями.

Мідь має високу електро- і теплопровідність, корозійностійкість. Густина міді становить 8,93 г/см³, температура плавлення – 1083°C, температура кипіння – 2360°C.

Мідь відноситься до важкозварюваних металів і потребує достатньо високої кваліфікації зварника.

16.1.1. Ручне дугове зварювання міді вугільним або графітовим електродами

Однобічне зварювання міді товщиною до 4 мм виконують без розчищення кромок, а при більшій товщині – з розчищенням кромок під кутом 70–90°. При двобічному зварюванні товщина зварюваних деталей без розчищення може бути збільшена до 6 мм. Щоб уникнути витікання зварної ванни при складанні стикових з'єднань, установлюють графітові або азбестові підкладки. В якості присадкувального металу застосовують прямокутні або круглі мідні трубки марок М1, М2, М3 або мідь з підвищеним вмістом фосфору (до 0,2%), який є активним розкиснювачем міді (табл. 16.1). Переріз прутка вибирають у межах 20–25 мм², бо менший переріз призводить до погіршення якості металу шва.

Щоб зменшити окиснення міді і забезпечити переведення оксидів у шлак, необхідно використовувати флюси (табл. 16.2). Флюс наспаяють на зварюваний метал перед зварюванням, а також укладають нагрітим кішчем прутка у зварну ванну під час зварювання.

Перед початком зварювання виріб підігрівають до температури 400–500°C у спеціальних печах, вугільною дугою або газовим паливом.

Дуже важливо, щоб зварюваний метал добре змочувався рідким металом. Якщо крапля розплавленого металу, потрапляючи на по-

Присадкувальні матеріали для зварювання міді

Марка	Товщина зварюваної міді, мм	Товщина міді, мм	Діаметр дроту, мм
М-0	Для слабонавантажених конструкцій	< 1,5	1,5
		1,5–2,5	2
		2,5–4	3
М-1	1–2	4–8	4–5
МСр-1	1–10	8–15	6
МНЖ-5-1	3–10	> 15	8
МНЖКТ-5-1-0,2-0,2	> 10	< 1	1,5

Флюси для зварювання міді та її сплавів

Номер флюсу	Склад, %						
	бура прокалена	барна кислота	кислі фосфорно-кислий	кварцовий пісок	деревне вугілля	кузняна сіль	вуглекислий кальцій (порошок)
1	100	–	–	–	–	–	–
2	–	100	–	–	–	–	–
3	50	50	–	–	–	–	–
4	75	25	–	–	–	–	–
5	50	35	15	–	–	–	–
6	30	–	15	15	20	–	–
7	70	10	–	–	–	20	–
8	56	–	–	–	–	22	22

верхню зварюваного металу набирає кулястої форми, а не розтікається, то зварювання виконувати не можна. Погане змочування й розтікання вказує на погане зчеплення між частинами рідкого та твердого металу. Причиною цього може бути забруднення поверхні основного металу або його низька температура. Тому зварюваний метал очищують і прогрівають дугою, а при необхідності виконують попередній або супровідний підгірів.

Зварювання виконують постійним струмом прямої полярності в нижньому положенні. Кут нахилу електрода становить 10–20° від вертикалі; довжина дуги – 20–30 мм при напрузі 30–40 В. Якщо дуга буде короткою, то оксид вуглецю, який утворюється біля вугільного електрода на відстані 12–15 мм, буде взаємодіяти з оксидом міді й приведе до пористості шва. Швидкість зварювання має бути максимальною (не вище 15 м/год), тому що при малих швидкостях зварювання оксид міді накопичується на межах зерен і мідь стає крихкою. Пруток розташовують під кутом 15–30° до горизонталі

перед дугою, а відступив від його кінця до поверхні зварюваного металу повинна становити 5–6 мм. Стикові шви зварюють за один прохід, бо повторне нагрівання призводить до зниження міцності металу. Після зварювання виконують проковування швів і швидке охолодження у воді.

Режими (табл. 16.3), умови і техніку зварювання міді необхідно детально відпрацювати на зразках і технологічних пробах.

Таблиця 16.3

Орієнтовні режими зварювання міді вугільним і графітовим електродами

Товщина зварюваного металу, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Діаметр електрода		Сила зварювального струму, А
		вугільного	графітового	
до 1,5	1,5	8	6	130–180
1,5–2,5	2,0	10	8	180–230
2,5–4,0	3,0	15	10	230–300
4,0–8,0	5,0	18	15	300–400
8,0–15,0	8,0	25	18	400–600

16.1.2. Ручне дугове зварювання міді покритими електродами

Зварювання міді покритими електродами використовують при товщині металу понад 2 мм. Підготовку впробів під зварювання виконують як і при зварюванні вугільним електродом.

При зварюванні міді, що містить не більше 0,01% кисню, та зварювання міді з низьковуглецевими сталями використовують електроди діаметром 3–6 мм марок ЗТ, «Комсомолец-100» та ін. Стрижень цих електродів виготовляють із мідного дроту, а в деяких випадках – з бронзи Бр. КМцЗ-1. Покриття електродів – фтористо-кальциєве. Електроди придатні для зварювання в нижньому положенні на постійному струмі зворотної полярності. При наявності в покритті поташу можливе використання змінного струму, але збільшується розбризкування металу. Зварювальний струм відбирають із розрахунку 50–60 А на 1 мм діаметра електрода. При товщині деталей до 16 мм необхідний підігрів до 300–400°C, а при більшій товщині застосовують супровідний підігрів. Зварюють короткою дугою без коливань рухів кінцем електрода. Після зварювання виконують проковування і швидке охолодження у воді. Коефіцієнт наплавлення електродів «Комсомолец-100» становить 14 г/А год; витрати електродів на 1 кг наплавленого металу – 1,4 кг.

Механічні властивості наплавленого металу: границя міцності – 200–240 МПа, відносне видовження – 18–20%, ударна в'язкість – 60–80 Дж/см², кут звару – 120–180°.

Хімічний склад наплавленого металу: марганець – 2,2%, кремій – 0,7, залізо – 1,4%, рента – мідь.

Орієнтовні режими ручного дугового зварювання міді покритими електродами наведені в табл. 16.4.

Таблиця 16.4

Орієнтовні режими ручного зварювання міді покритими електродами

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В
2	2–3	100–120	25–27
3	3–4	120–160	25–27
4	4–5	160–200	25–27
5	5–6	240–300	25–27
6	5–7	260–340	26–28
7–8	6–7	380–400	26–28
9–10	6–8	400–420	26–28

Примітка. Зварювання виконується на постійному струмі зворотної полярності. Деталі завтовшки понад 10–12 мм зварюють у 3–6 шарів струмом 500 А електродами діаметром 6–8 мм.

16.1.3. Зварювання міді в середовищі захисних газів

Зварювання міді в захисних газах поділяють на аргонодугове й азотодугове плавкими та неплавкими електродами.

Аргонодугове зварювання міді плавким електродом виконують на постійному струмі зворотної полярності короткою дугою із використанням електродного матеріалу марок М1, Бр.КМцЗ-1, Бр.ОЦ4-3, Бр.Х08. При товщині деталі понад 6 мм необхідний попередній підігрів до температури 300–400°C, при товщині металу більше 16 мм – крім того ще й супровідний підігрів.

Азотодугове зварювання можливе завдяки тому, що азот щодо міді є інертним газом.

Широко використовується напівавтоматичне зварювання міді плавким електродом у середовищі азоту з використанням спеціальних зварювальних напівавтоматів. При цьому збільшуються розмір вихідного отвору наконечника пальника і кількість захисного газу. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності від джерела живлення дуги з жорсткою зовнішньою характеристикою без попереднього підігріву.

Зварювання міді неплавким (вольфрамовим) електродом у середовищі аргону виконують на постійному струмі прямої полярності. В якості присаджувального матеріалу застосовують дрід (пруток) з міді марок М1, М2, М3 або бронзи марок Бр.Х08 і

Орієнтовні режими зварювання міді у середовищі азоту
вольфрамовим електродом

Товщина деталі, мм	Діаметр вольфрамового електроду, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр вихідного отвору сопла гальника, мм
1,2–1,5	2,5–3,0	1,6–2,0	120–130	6–8
2,5–3,0	3,0–4,0	2,5–3,0	200–230	8–10

Примітка. Присадка – бронза Бр.КМц 3-1

Бр.КМц3-1. Для видалення оксидів використовують флюс (борний шлак та ін.), який наносять на кромки зварюваних деталей і в канавку під шов або на присаджувальний дріт. Для нормального формування шва й зменшення відводу тепла при зварюванні виконують на графітових або азбестових підкладках із канавками.

Дугу запалюють на графітовій або вугільній пластині й після нагрівання електрода переносять на зварювану деталь. Зварюють із максимальною швидкістю в один прохід.

Для зварювання міді товщиною 4–5 мм використовують електрод діаметром 3,5–4 мм, присаджувальний дріт діаметром 4–5 мм, силу зварювального струму – 300–400 А, витрати аргону – 8–10 л/год. Необхідність попереднього та суцільного нагріву зберігається.

Орієнтовні режими зварювання міді вольфрамовим електродом у середовищі аргону й азоту вказані у табл. 16.5 і 16.6.

Таблиця 16.5

Орієнтовні режими аргонно-дугового зварювання міді
вольфрамовим електродом

Підготовка кромки	Товщина деталі, мм	Діаметр електроду, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Число проходів (крім підварочного)	Витрата аргону, л/хв	Зварювальний струм, А
Без розчищення	1,2	2,5–3,0	1,6	1	7–8,5	120–130
	1,5	2,5–3,0	2,0		7–8,5	140–150
	2,5	3,5–4,0	2,5–3,0		7,5–9,5	220–230
	3,0	3,5–4,0	2,5–3,0		7,5–9,5	230–240
V-подібне розчищення кромки ($\alpha = 70...90^\circ$)	10,0	4–4,5	3,0	3	7–8	1-й прохід 200–300
		4–4,5	5,0		7	2-й прохід 200–350
		4–4,5	6,0		7	3-й прохід 200–400
		4–4,5	3,0		7	250–350*
	12,0	4–4,5	3,0	4	8–10	1-й прохід 250–350
		4–4,5	5,0		8–10	2-й прохід 250–400
		4–4,5	6,0		8–10	3-й прохід 300–450
		4–4,5	6,0		8–10	4-й прохід 300–450
X-подібне розчищення кромки ($\alpha = 70...90^\circ$)	19	5–5,5	3,0	6	10–12	1–2-й проходи 250–400
		5–5,5	5,0		10–12	3–4-й проходи 250–450
		5–5,5	6,0		10–12	5–6-й проходи 300–500
		5–5,5	3,0		10–12	250–350*
	25	5–5,5	3,0	8	12–14	1–2-й проходи 250–400
		5–5,5	5,0		12–14	3–4-й проходи 300–500
		5–5,5	6,0		12–14	7–8-й проходи 350–600

Примітка. * підварочний шов.

16.1.4. Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом виконують неплавкими (вугільними) і плавкими електродами (суцільними й порошковими дротами). Використовують плавкі флюси марок АН-20, АН-348А, ОСЦ-45 або керамічний флюс ЖМ-1. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності. Керамічний флюс ЖМ-1 дає можливість використовувати змінний струм. Для зварювання використовують дріт марок М1, М2, М3, а в окремих випадках – дріт марки Бр.КМц 3-1 діаметром 1,6–5 мм.

Стикові з'єднання товщиною від 2 до 6 мм виконують без розчищення кромки за один прохід, а при більшій товщині – з V-подібним скосом кромки під кутом 60° без притуплення із застосуванням мідних вихідних пластинок. Зварюють на флюсових подушках або графітових підкладках. При автоматичному зварюванні вугільним електродом використовують спеціальні зварювальні головки, а при зварюванні плавкими електродами – звичайні.

Орієнтовні режими автоматичного зварювання міді під флюсом наведені в табл. 16.7.

Таблиця 16.7

Орієнтовні режими автоматичного зварювання міді під флюсом

Товщина металу, мм	Розчищення кромки	Зварювальний струм, А	Нахил на дугу, $^\circ$	Швидкість зварювання, м/год (м/хв)
<i>Стикові з'єднання</i>				
5–6	Без	500–550	38–42	45–48 (12,6–11,2)
10–12		700–800	40–44	20–15 (5,6–4,2)
16–20		850–1000	45–50	1,2–6 (3,4–1,2)
25–30	U-подібне	1000–1100	45–50	8–6 (2,2–1,7)
35–40		1200–1400	48–55	6–4 (1,7–1,1)
16–20	Однорічне	850–1000	45–50	12–8 (3,4–2,2)
<i>Кутові з'єднання</i>				
25–30	U-подібне	1000–1100	45–50	8–6 (2,2–1,7)
35–40		1200–1400	48–55	6,4–4 (1,7–1,1)
45–60		1400–1600	48–55	3–3 (0,98–0,84)

16.2. ЗВАРЮВАННЯ ЛАТУНІ

Латуні – це сплави міді з цинком, у яких вміст цинку становить від 2 до 55%. Спеціальні латуні, крім міді й цинку, містять легуючі добавки (нікель, олово, свинець та ін.), які змінюють властивості сплаву.

Завдяки високій міцності, пластичності, корозійній стійкості й задовільній зварюваності латуні широко застосовують при виготовленні різних виробів у хімічній та інших галузях промисловості.

Прості латуні є двокомпонентними марок Л96, Л90, Л85, Л80, Л70, Л68, Л62. У позначенні буква Л означає латунь, а цифри – відсотковий вміст міді.

Спеціальні латуні поділяють на деформовані й ливарні.

Деформовані латуні, призначені для обробки тиском, нормуються ГОСТ 15527-70. Після букви Л у порядку зменшення відсоткового вмісту початковими буквами позначаються легуючі елементи. Після букви перша цифра вказує середній відсотковий вміст міді у сплаві, інші цифри – вміст легуючих елементів. Наприклад, латунь ЛЖС 58-1-1 містить 58% Cu, 1% Fe, 1% Pb, решта – Zn.

У марках **ливарних латуней** (ГОСТ 17711-80) після букви Л відповідними буквами й цифрами вказують середній відсотковий вміст легуючих елементів. Наприклад, латунь ЛЦ40С містить 40% Zn, 1% Pb, решта – Cu.

Основною трудністю при зварюванні латуні є випаровування й згоряння цинку (температура кипіння цинку становить 905°C); у результаті зменшується його вміст у металі шва і погіршується якість. Це призводить до виникнення пор і зниження міцності зварного з'єднання. Окиснення шарів цинку на повітрі сприяє утворенню оксиду цинку, який шкідливий для здоров'я. Тому при виконанні зварювальних робіт необхідно забезпечити добру вентиляцію зварювального поста.

При товщині латуні понад 8–10 мм виконують поперелний підігрів до температури 300–500°C, а при товщині більше 20 мм необхідний супровідний підігрів. Після зварювання шов проковують, а виріб відпаляють при температурі 600–700°C.

16.2.1. Ручне дугове зварювання латуні покритими електродами

Зварювання латуні покритими електродами має обмежене використання, в основному для виправлення браку лиття. Це пов'язано з сильним випаровуванням цинку при дуговому зварюванні порівняно з газовим зварюванням, дугове у захисному газі або дугове під флюсом. Для зварювання використовують електроди марки ЗТ, стрижень яких виготовлено з бронзи марки Бр.КМцЗ-1,

а покриття містить 17,5% марганцевої руди, 13 плавикового штипу, 16 срібного графіту, 32 феросиліцію та 2,5% алюмінію.

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності без коливальних рухів кінцем електрода. Для зниження вигорання цинку зменшують довжину дуги. Щоб зменшити витікання металу стик захищають із зворотного боку азбестовою підкладкою. При товщині до 4 мм метал зварюють без розчищення кромки, а при більшій товщині розчищення кромки таке ж, як і для сталей. Після зварювання шов проковують, а виріб відпаляють при температурі 600–650°C для вирівнювання хімічного складу і надання металу шва дрібнозернистої структури.

Зварювання латуні виконують й іншими електродами залежно від марки зварюваної латуні. Електроди стрижень беруть подібними за хімічним складом до основного металу, на які наносять покриття основного типу з великим вмістом активних розкислювачів (алюміній, графіт, феросиліцій та ін.).

16.2.2. Зварювання латуні графітовим електродом

Зварювання латуні малої товщини графітовим електродом виконують із загуренням кінця електрода у розплавлений метал. Дуга при цьому гаснути не буде тому, що між загуренням кінцем електрода й поверхнею розплавленого металу утворюється порожнина, заповнена парами цинку. Таке концентроване нагрівання і спосіб ведення зварювання значно зменшують вигорання цинку. Для зварювання використовують такі ж флюси, як і для зварювання міді. Найбільше поширення має флюс БЛ-3 такого складу: 35% криоліту, 12,5 хлористого натрію, 50 хлористого калію та 2,5% деревного вугілля. Присаджувальним металом є прутки з латуні марок ЛК62-0,5; ЛМц58-2; ЛМц40-4,5; ЛК80-3; ЛМцЖ55-3-1 або бронзи Бр.ОМцА8-0,7-0,7. Метал завтовшки понад 3 мм зварюють із розчищенням кромки під кутом 60–70° з пригнутенням 1,0–2 мм. Латуні товщиною до 10 мм зварюють без підігріву, а понад 10 мм – із підігрівом до 300–350°C. Режим зварювання латуні графітовим електродом наведено в табл. 16.8.

Таблиця 16.8

Режими зварювання латуні графітовим електродом			
Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Діаметр присадки, мм	Зварювальний струм, А
3	6	4	180–200
5	10	6	240–270
10	18	8	400–450
14–16	20	10	450–550

16.2.3. Дугове зварювання латуні вольфрамовим електродом

Зварювання латуні вольфрамовим електродом виконується в середовищі аргону або гелію на постійному струмі прямої полярності. Режими зварювання такі самі, як і при аргонно-дуговому зварюванні міді. Хімічний склад присаджувального металу повинен відповідати складу основного. При товщині деталей понад 10 мм, а також при наявності різних за товщиною деталей, необхідний попередній підігрів.

16.2.4. Автоматичне й напівавтоматичне зварювання латуні під флюсом

Зварювання під флюсом виконують на постійному струмі прямої полярності. При цьому використовують флюси марок ОСЦ-45, АН-348А і АН-20. Електродний дріт беруть із латуні марок ЛК80-3, ЛК60-0,5, із бронзи марок Бр.ОЦ-4-3, Бр.КМц3-1 або із міді марок М1, М2, М3 діаметром 1–3 мм. Режими підбирають залежно від товщини зварюваних деталей. Зварювання стикового з'єднання металу завтовшки 6 мм на азбестовій або іншій підкладці виконують дротом діаметром 2 мм при силі зварювального струму 350–400 А, напрузі на дузі 30–33 В, швидкості подачі дроту 18 м/год.

16.3. ЗВАРЮВАННЯ БРОНЗИ

Бронзи — це сплави міді з алюмінієм, оловом, кремнієм та іншими елементами. Залежно від переважання легуючого елемента виспачається й назва бронзи. Їх поділяють на олов'яні та безолов'яні, литварні й деформівні. Застосування й способи зварювання бронз наведено в табл. 16.9.

Температура плавлення олов'яних бронз становить 900–950°C, безолов'яних — 950–1080°C. Олов'яні бронзи містять олова від 3 до 14%, а також фосфор, цинк, нікель та інші елементи. Олово в бронзі значно знижує температуру плавлення й збільшує інтервал між температурами початку та кінця кристалізації.

Хімічний склад і призначення олов'яних бронз регламентують стандарти ГОСТ 5017-74, ГОСТ 613-79; безолов'яних — ГОСТ 18175-78, ГОСТ 493-79.

У позначеннях марок бронз прийнята та ж система, що й для латуней, лише на початку марки пишуть Бр., що означає бронза. Наприклад, бронза Бр.ОЦС-4-4-4 містить 4% Sn, 4% Zn, 4% Pb, решта — Cu.

Область застосування бронз і рекомендовані способи їх зварювання

Марка	Основні властивості	Застосування	Способи зварювання
<i>Олов'яні</i>			
Бр.ОЦ 10-2 Бр.ОЦ 8-4 Бр.ОЦС Б-6-3	Сплавні з добрим зварювальними властивостями	Фасонні лиття та арматури	Задовільна газова зварюваність
<i>Алюмінієві</i>			
Бр.АЖ9-1 Бр.АМ10-3-7,5 Бр.АЖН10-4-4 Бр.АЖН11-6-6	Не містять олова, але добре зливаються з олов'яні бронзи. Висока антикорозійна та антифрикційна властивості	Фасонні лиття та арматури	Повишена зварюваність. Краї зварювання нудяться електрикою. Газозварювання не дає стійких результатів і застосовується рідко
<i>Кремністі</i>			
Бр.КМц3-1	Висока механічна, корозійна, антифрикційна, зносостійкі властивості	Арматура та інші лінійні та інші складні	Задовільна зварюваність через присутність кремнію в марганцю. В основному використовують дугове зварювання, а газове застосовується рідко

Завдяки високим антифрикційним властивостям і стійкості проти корозії бронза має широке використання при виготовленні деталей, що працюють при терті в умовах агресивного середовища. Бронзу застосовують для виготовлення біметалевих деталей (наплавлення бронзи на сталеву основу), відновлення спрацьованих деталей, виправлення дефектів бронзових відливок.

Існують десятки марок бронз, які за зварюваністю значно відрізняються одна від одної. Зварювання бронзи можна виконувати рухливим електродом з присаджувальним металом, покритими електродами та вольфрамовим електродом в аргоні.

Деформівні бронзи (з вмістом олова до 7–8%, алюмінію до 5–7% та інших компонентів) товщиною до 4 мм зварюють усіма способами дугового зварювання без попереднього підігріву. Деформівні бронзи більшої товщини й литварні бронзи (з великим вмістом легуючих елементів) зварюють з підігрівом до 250–300°C. Нагато великий підігрів шкідливий при зварюванні олов'яних бронз, у яких відігрите надлишкове олово розташовується на межі зерен і розплавленість може призвести до руйнування виробу під впливом власної маси. Бронзи зварюють у нижньому або похилому положенні (до 15°).

16.3.1. Зварювання бронзи вугільним електродом

При зварюванні безплав'яних бронз вугільним електродом використовують дріт бронзові стрижки діаметром 5–10 мм того ж хімічного складу, що й основний метал (95–96% міді, 3–4 кремнію, 0,25% фосфору). Для зварювання олов'яних бронз вугільним електродом використовують прутки такого хімічного складу: 8% цинку, 3 олова, 6 свинцю, 0,2–0,3% фосфору, заліза, нікелю (кожного), решта – мідь. Флюси для зварювання олов'яних бронз виготовляють на борній основі – бура і борна кислота; для зварювання алюмінієвих бронз – на основі хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів, кріоліту, які видаляють оксид алюмінію.

Зварювання виконують постійним струмом прямої полярності. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 25–35 А на 1 мм діаметра електрода, напругу дуги – 40–45 В. У більшості випадків необхідний попередній підігрів до температури 300–400°C.

16.3.2. Зварювання бронзи покритими електродами

Зварювання бронзи виконують електродами з стрижнем, близьким за хімічним складом до основного металу. Для зварювання марганцевистої бронзи (Бр.Мн5 та ін.) використовують електроди «Комсомолец-100» обов'язково з попереднім підігрівом до температури 400–500°C. Для зварювання алюмінієвих і алюмонікелевих бронз застосовують електроди АНМп/ЛКЗ-АБ із попереднім підігрівом до температури 150–300°C. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності короткими ділянками; на змінному струмі – з осциляторами при підвищеному струмі.

Орієнтовні режими ручного дугового зварювання бронз покритими електродами наведено в табл. 16.10.

Таблиця 16.10

Орієнтовні режими ручного зварювання бронз штучними електродами

Тип бронзи	Марка струмця електрода	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А
Олов'яний	Бр. ОФ 9-0,3	5-6	160-220
	Бр. ОФ 6,5-0,4	7-8	220-260
Алюмінієвий	Бр. АЖ 9-4	5-6	220-280
	Бр. АЖМц 10-3-1,5		

Примітка. Струм постійний, зворотної полярності.

16.3.3. Автоматичне зварювання бронзи плавким електродом під флюсом

Зварювання бронзи виконується дротом такого ж хімічного складу як і основний метал під флюсом АП-20, сіно- або двофлюсним швом без скопу кромок при товщині металу до 10 мм, а при більшій товщині – зі скопом кромок. Режим зварювання підбирають залежно від з'єднуваних деталей і діаметра дроту.

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти ПП-Бр.ОЦС5-6-3 і ПП-Бр.ОС-2-1. Оболонка дроту виготовлена з мідної стрічки товщиною 0,5–0,8 мм та шириною 10–16 мм.

Механізоване наплавлення бронзи порошковими дротами виконується як існуючих зварювальних і наплавленвальних установках, а при використанні порошкової стрічки застосовують спеціальну приставку для подачі електрода.

Для наплавлення бронзи в середовищі азоту використовують порошкові дроти ПП-Бр.АЖ9-4А та ПП-Бр.ОС10-10А. Зварювання бронзи в азотній полярності до аргоно-дугового зварювання міді й латуні.

16.4. ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Алюміній та його сплави широко застосовуються в промисловості у вигляді листів, труб та іншого профільного матеріалу.

Алюміній (ГОСТ 11069-74) випускають таких марок: особливої чистоти – А995, А99, А97, А95, технічної чистоти – А85, А8, А7Е, А7, А6, А5Е. Цифри в позначеннях марок означають сотову частку вмісту алюмінію, а основну (99%) не вказують. Наприклад: алюміній А97 містить 99,97% Al, решта – домішки Fe, Si, Cu, Zn, Ti; їх загальний вміст не перевищує 0,03%.

Сплави алюмінію мають високі механічні властивості при малій густині, що досягається легуванням їх марганцем, міддю, кремнієм, нікелем, хромом та іншими елементами. Технічно чистий алюміній в техніці має обмежене застосування внаслідок низької міцності й високої пластичності. Частіше застосовують сплави алюмінію, які поділяють на дві групи: деформовані та ливарні. Деформовані поділяють на незміцнені термічною обробкою (АМц1, АМц1) і зміцнені термічною обробкою (Д1, Д16, АВ, АК, В-95). З ливарних найчастіше використовують силуміни – сплави алюмінію з кремнієм від 4 до 13% (Ал2, Ал4, Ал9).

Деформовані сплави зварюють переважно дуговими методами. Газозварювання використовують при відсутності такої можливості.

Ливарні сплави добре піддаються газовому зварюванню та варієві аргоноподобним методом широко використовуються при зварюванні дефектів листя й при ремонті. Зварюваність алюмінієвих сплавів залежно від їх фізико-хімічних властивостей вказана в табл. 16.11.

Таблиця 16.11

Зварюваність алюмінієвих сплавів

Група	Марка	Характеристика зварюваності
<i>Деформовані сплави</i>		
Алюмінієво-марганцеві з вмістом від 1 до 1,6% марганцю	АМц	Добра
Алюмінієво-магнієві з вмістом від 2 до 6% магнію	АМг1	Задовільна
	АМг3	Добра
	АМг5	Задовільна
	АМг6	Те ж
Алюмінієво-мідні (типу дюралюмінію)	Д1	Погана
	Д16	Те ж
Термомагнісовані сплави АМц	АВ	-
	АК	-
	В95	-
		-
<i>Ливарні сплави</i>		
Алюмінієво-кремністі (типу силуміні) з вмістом від 4 до 13% кремнію	Ал2	Задовільна
	Ал4	Те ж
	Ал9	-

Основні труднощі зварювання алюмінію та його сплавів:

1. Сильна окиснюваність при високій температурі з утворенням тугоплавкої (температура плавлення 2050°C) оксидної плівки Al_2O_3 , яка має більшу густину ніж алюміній (3,85 г/см³). Оксидна плівка утруднює сплавлювання, сприяє непроварам, підвищує крихкість металу. Її видаляють механічним і хімічними способами перед зварюванням, захищають зону зварювання інертним газом, катодним розпльовуванням, застосовують покриття електродів і флюси на основі солей лужних і лужноземельних металів (NaCl, NaF, KCl та ін.);

2. Схильність до утворення гарячих тріщин через велику ліварну усадку металу й наявність домішок. Для цього зменшують вміст домішок у зварюваному металі, додають модифікатори (Zr, Ti, B) і регулюють режими зварювання;

3. Підвищена пористість металу шва, яка пов'язана з настиганням розплавленого металу вологою. Для зменшення пористості детально очищають кромки та дріт від вологості, використовують попередній підігрів, збільшують діаметр присаджувального дроту;

4. Високий коефіцієнт лінійного розширення сприяє появі значних зварювальних деформацій, що потребує використання спеціальних затискних пристосувань й усунення деформацій після зварювання;

5. Велика різнотекучість і низька міцність при температурах вище 350°C викликає необхідність застосування підкладок;

6. Висока теплопровідність алюмінію потребує застосування потужних джерел тепла та підігріву;

7. Високий коефіцієнт в'язкості й швидкої тепловідвід утруднюють формування шва, що потребує необхідного розширення кромки;

8. Низька температура плавлення алюмінію (660°C) та відсутність зміни кольору при нагріванні заважає вчасно помітити момент початку плавлення. Для цього необхідний досвід і навички зварника.

Деталі з алюмінію та його сплавів з'єднують зварюванням плавленням і зварюванням треском. Широко використовується зварювання таких видів: ручне або механізоване дугове зварювання неплавким електродом у захисному інертному газі; механізоване дугове зварювання плавким електродом у захисному газі; автоматичне дугове зварювання плавким дротом по шару флюсу; стикове й точкове контактне зварювання; дугове зварювання вугільним або графітовим електродом; алюмінієвим покритим електродом; електрошлаковим зварюванням і зварюванням електронним променем.

16.4.1. Ручне дугове зварювання алюмінію покритими електродом

Зварювання алюмінію та його сплавів покритими електродом використовують при виготовленні виробів товщиною понад 3 мм. Перед зварюванням кромки деталей очищають щіткою та знежирюють ацетоном, бензином або іншим розчинником. Потім видаляють оксидну плівку алюмінію травленням протягом 0,5–1 хв у спеціальному розчині (на 1 л води 50 г їдкого натрію, 45 г фтористого натрію), промивають у теплій проточній воді (40°C) і нейтралізують у 25–35%-ному водному розчині азотної або сірчаної кислоти (1–2 хв), знову промивають у проточній воді і сушать до повного видалення вологості (у сушильних шафах). Сплави з магнієм і кремнієм окислюють у 25%-ному розчині ортофосфорної кислоти. Алюміній товщиною до 5 мм зварюють без скошу кромки, а при більшій товщині виконують розширення кромки під кутом 60° з притушенням 1–2 мм. Деталі товщиною до 4 мм зварюють без підігріву, 5–6 мм – з підігрівом до 100°C, 8–10 мм – з підігрівом до 160–200°C, при більшій товщині – підігрів до 290–400°C.

Щоб уникнути випадкового зварювання шлакості, якій належить алюміній, кількість шарів при зварюванні має бути мінімальною. Алюміній товщиною до 8 мм зварюють за один прохід із повним зануренням розширених кромки. Багатопродіне зварювання алюмінію товщиною понад 8 мм виконують при детальному очищенні й відмиванні шлаку з поверхні кожного проходу.

Для дугового зварювання алюмінію титру А0, А1, А2, А3 використовують електроди марки ОЗА-1 із алюмінієвим стрижнем марки Св-А5 і спеціальним покриттям, до складу якого входять хлористі натрій, калій, літій, сірчаноокислий калій і криоліт. Зварювання виконують у нисхідному і вертикальному положеннях постійним струмом зворотної полярності, короткою дугою без коливальних рухів із підтримкою до 250–400°C. Електроди перед використанням обов'язково просушують при температурі 200°C протягом години. Розбрикування підвищене, формування валика й стійкість горіння дуги задовільні. Витрати електродів на 1 кг наплавленого металу становлять 2 кг, коефіцієнт наплавлення – 6,32 г/А-год, тимчасовий опір розриву – 63 Н/мм², кут з'єдну – 160°. Після зварювання шлак видаляють промиванням гарячою водою із застосуванням сталевих щіток. Обрив дуги при завершенні плавлення електрода необхідно виконувати вогнутою, щоб закрити кратер.

Для зварювання й наплавлення деталей із сплавів алюмінію титру АЛ-4, АЛ-9, АЛ-11 та ін. використовують електроди марки ОЗА-2. Наплавлений метал має підвищений вміст кремнію (до 5,0%), тимчасовий опір розриву – 72 Н/мм², кут з'єдну – 90°. Інші показники й технологічні особливості такі ж, як і в електродів ОЗА-1.

Орієнтовні режими зварювання алюмінію покритими електродами ОЗА-1 та ОЗА-2 наведені в табл. 16.12.

Таблиця 16.12

Орієнтовні режими зварювання електродами ОЗА-1 та ОЗА-2

Діаметр електрода, мм	Сила зварювального струму (А) у просторівок голікеник	
	ніжне	вертикальне
4,0	100–200	100–120
5,0	130–150	120–140
6,0	160–180	

Примітка. Напрямок дуги – 30–36 В.

Одним із недоліків зварювання алюмінію покритими електродами є внутрішня пористість швів, але при зварюванні чистого алюмінію властивості зварного шва наближені до властивостей основного металу. При зварюванні термічно зміцнених сплавів алюмінію міцність з'єднань буде меншою міцності основного металу.

16.4.2. Аргонодугове зварювання алюмінію вольфрамовим електродом

Розвиток аргонодугового зварювання алюмінію та його сплавів пов'язаний із забезпеченням сприятливих умов для руйнування оксидних плівок і підвищення якості зварних з'єднань. Підвищити ефективність руйнування тугоплавкої оксидної плівки можна

шляхом збільшення силового впливу дуги на розплавлений метал, інтенсифікації перемішування його по всьому об'єму дугної ванни та активізації процесів катодного очищення.

Механічне дроблення оксидної плівки досягають при зварюванні з імпульсною подачею дроту. При цьому відбувається періодичне заглиблення дуги в розплавлений метал, що викликає хвилюві переміщення рідкого металу й механічне дроблення оксидної плівки.

Глибину проникнення дуги в розплавлений метал можна збільшити за допомогою пульсації зварювального струму або накладання на дугу додаткових короткочасних імпульсів. Внаслідок різних значень тиску дуги в періоді змінного струму, глибину її занурення в рідкий метал можна збільшити, використовуючи для зварювання асиметричний змінний струм.

Для перемішування металу зварної ванни використовують зовнішній електромагнітний вплив на дуговий розряд. При цьому кероване магнітне поле призводить до колового, подовженого або поперечного відхилення дуги, що сприяє інтенсивному перемішуванню рідкого металу, механічному дробленню оксидної плівки в кореневій частині ванни і винесенню її частини на поверхню, де вони руйнуються катодним розпилюванням.

На процесі утворення та руйнування оксидної плівки значно впливає форма імпульсів зварювального струму. Для цього застосовують струм прямокутної форми з незалежно регульованими тривалістю й амплітудами імпульсів при прямій та зворотної полярності. При переході від синусовидної форми струму до трапецієподібної і прямокутної тривалість зростає та з боку сили струму скорочується, завдяки чому збільшується час катодного очищення й створюються сприятливі умови для катодного руйнування оксидної плівки.

Прямокутна форма струму забезпечує різні зміни силового впливу дуги з частотою, рівною зміні полярності струму. При зміні полярності струму проходить переміщення неаруйнованих частинок оксидної плівки з нижньої у верхню частину зварної ванни під безпосередній вплив дуги.

Змінюючи параметри амплітудної й тимчасової асиметрії струму, одночасно впливають на глибину занурення дуги в розплавлений метал, інтенсивність його перемішування та ефективність катодного розпилювання.

Застосування асиметричного струму прямокутної форми сприяє виходу газів із зварної ванни та зменшенню пористості шва.

Для зварювання нових надлегких високоміцних алюмінієво-літійових сплавів створені спеціальні технології, які дозволяють аміновати температурний баланс у зварній ванні за рахунок додаткового теплового впливу підтриманим присадкувального

Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію несплавленим електродом

Тип з'єднання	Товщина деталі, мм	Діаметр, мм		Захисний газ				Кількість прокатів
		вольфрамового електрода	показують вального дроту	аргон		гелій		
				сила зварювального струму, А	витрата газу, л/хв	сила зварювального струму, А	витрата газу, л/хв	
З підбортовкою кромки	1,0	1,0	—	45–50	4–5	35–45	12–15	1
	1,5	1,5–2,0	—	70–75	5–6	50–60	18–20	1
	2,0	1,5–2,0	—	80–85	7–8	65–75	20–22	1
	2,0	1,5–2,0	1,0–2,0	55–75	5–6	50–60	18–20	1
	3,0	3,0–4,0	2,0–3,0	100–120	7–8	100–160	24–30	1
Стале, без розчищення кромки, одностороннє	4,0	3,0–4,0	2,0–3,0	120–150	8–10	90–120	25–31	1
	4,0	3,0–4,0	3,0–4,0	120–180	7–8	100–160	20–26	2
	5,0	4,0–5,0	3,0–4,0	200–280	8–10	160–200	22–28	2
Стале, без розчищення кромки, двобічне	6,0	4,0–5,0	3,0–4,0	240–270	8–10	200–240	22–28	2
	6,0	4,0–5,0	3,0–4,0	220–280	7–8	180–240	20–26	3
	8,0	4,0–5,0	4,0–5,0	270–300	9–12	250–280	27–35	3
Стале, з розчищенням кромки	10,0	4,0–5,0	4,0–5,0	270–380	9–12	230–280	27–35	3
	2–4	2,0–4,0	1,5–4,0	100–200	5–7	80–160	10–18	1–2
	4–8	4,0–5,0	3,0–4,0	200–300	7–8	180–250	20–24	2–4
Газове, кутане, шпатель	10	5,0–6,0	4,0–5,0	270–320	9–10	250–300	25–28	2–4

16.4.3. Механізоване зварювання алюмінію та його сплавів в аргонній плазмі електродом

При зварюванні алюмінію плазмі електродом використовується постійний струм зворотної полярності. На прямій полярності горіння дуги нестабільне і ефект катодного розіплення не використовується. Суть катодного розіплення полягає в тому, що при зварюванні на зворотній полярності проходить дроблення оксидної плівки Al_2O_3 з частинним розіпленням частінок оксиду на поверхні пороби. Оксидна плівка, яка покриває зварну ванну, руйнується під ударами важких позитивних іонів захисного газу аргону, що утворюються при горінні дуги. Утворений позитивний заряд іонів дробить оксидні плівки алюмінію й магнію. Інші газ, які мають меншу атомну масу, не здатні дробити та розіпяти оксиди. Механічний спосіб віддалення оксидної плівки полягає в тому, що зварник занурює у зварну ванну сталевий пруток діаметром 3–4 мм і вишмає його з оксидом, який приліпав до поверхні прутка. При струпуванні оксид легко відокремлюється від прутка. Орієнтовні режими механізованого аргондугового зварювання алюмінію плазмі електродом наведені в табл. 16.14.

дроту або неперервного подання в лоні зварювального аргону й гелію.

Плазменодугове зварювання з використанням асиметричного змінного струму прямокутної форми широко використовується в літакобудуванні, космічній техніці. Наскільки прокидання плазмової дуги сприяє ефективному руйнуванню оксидної плівки на торних кромках по всій товщині зварюваного металу, забезпечуючи більш високу якість швів, ніж при звичайному аргондуговому зварюванні.

Аргондугове зварювання алюмінію несплавленим електродом виконують на змінному струмі з використанням осцилятора. При живленні дуги змінним струмом за рахунок катодного розіплення в певні періоди, коли катодом є виріб, руйнується оксидна плівка.

У якості присадкувального металу використовують дріт такого ж хімічного складу як і оксидний метал. Зварювання виконують у всіх просторових положеннях без коливань рухів електрода. Дугу запалюють на дошкватній графітовій пластині, а потім переносять електрод на зварювані кромки.

Для захисту дуги й електрода застосовують аргон першого та другого сорту. Довжина дуги не повинна перевищувати 1,5–2,5 мм, а тиск аргону встановлюється в межах 0,01–0,05 МПа. Подач аргону проводиться за 3–5 с до збудження дуги, а згаснення – через 5–7 с після згаснення дуги (забезпечується електричним клапаном).

При напівавтоматичному і автоматичному зварюванні несплавленим електродом плазмі розіпнюють вертикально, а присадкувальний метал подається у плазменну ванну так, щоб кінець дроту виправся на край зварної ванни. Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію вольфрамовим електродом наведені в табл. 16.13.

Ручне та автоматичне зварювання трифазною дугою вольфрамовими електродом дозволяє проплакати без розчищення кромки за один прохід метал товщиною до 30 мм. При цьому зменшується пористість шва. Глибину провару регулюють зварювальним струмом і розташуванням електродів відносно осі шва. Послідовне розташування електродів відносно осі шва призводить до збільшення глибини провару і зменшення ширини шва, а навпаки – до зменшення провару і збільшення ширини шва. При використанні присадкувального металу для зменшення забруднення металу шва використовують дріт більшого діаметра: 3–6 мм при ручному зварюванні і 2–4 мм при автоматичному зварюванні. Джерелом живлення трифазної дуги є два стандартних однофазних трансформатора, з'єднаних трикутником, або спеціальний трансформатор.

Таблиця 16.14

Орієнтовні режими напівавтоматичного аргонодутового зварювання алюмінію плавким електродом

Тип з'єднання	Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугу, В	Швидкість зварювання, м/год ($\cdot 10^{-3}$ м/с)	Витрата аргону, л/мм	Ефективність проходу
Стикове, без розчищення кромки	4-6	1,5-2,0	140-240	19-22	20-30 (5,6-8,4)	6-10	2
	8-10	1,5-2,0	220-300	22-25	15-25 (4,2-6,9)	8-10	2
	12	2,0	280-300	23-25	15-18 (4,2-5,0)	10-12	2
Стикове, з V-подібним розчищенням кромки, на підкладці	5-8	1,5-2,0	220-280	21-24	20-25 (5,6-6,9)	8-10	2-3
	10-12	2,0	260-280	21-25	15-20 (4,2-5,6)	8-10	3-4
Стикове, з X-подібним розчищенням кромки	10-16	2,0	280-360	24-28	20-25 (5,6-6,9)	10-12	2-4
	20-25	2,0	330-360	26-28	18-20 (5,0-5,6)	12-15	4-6
	30-60	2,0	330-360	26-28	18-20 (5,0-5,6)	12-15	10-40
Таврове, дугове, аутпук	4-6	5-1,0	200-260	18-22	20-30 (5,6-8,4)	6-10	1
	8-6	2,0	270-330	24-26	20-25 (5,6-8,4)	8-10	2-6
	20-30	2,0	330-360	26-28	20-25 (5,6-8,4)	12-15	10-40

При механізованому зварюванні для живлення дуги використовують джерела струму з жорсткою зовнішньою характеристикою. Збудження дуги виконується замиканням зварювального дроту на виріб. Робочий тиск аргону такий же, як і при зварюванні неплавким електродом. Відстань між наконечником пальника і виробом установлюють у межах 3-15 мм.

16.4.4. Автоматичне зварювання алюмінію плавким електродом напіввідкритою дугою

Зварювання виконується напіввідкритою дугою при певному дозуванні флюсу, який регулюється спеціальним дозатором, який переміщується перед зварювальною дугою. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності при висльоті електрода 50-60 мм з використанням флюсів АП-А1 та ін. Однобічне зварювання виконується по зазору від 1,0 до 2,0 мм на флюсовій подушці або на підкладках. Зварюють без підігріву і розчищення кромки при товщині алюмінію до 20-25 мм.

16.4.5. Зварювання алюмінію вугільним електродом

Ручне зварювання вугільним електродом виконують у шкільному положенні постійним струмом прямої полярності. В якості присаджувального дроту використовують електродний дріт таких марок: з технічного алюмінію (Св-А97, Св-А85Т, Св-А5), алюмінієво-мар-

ганцевий (Св-АМц), алюмінієво-магнієвий (Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-АМг6, Св-АМг61, Св-АМг63, Св-1557), алюмінієво-кремнієвий (Св-АК5, Св-АК10), алюмінієво-мідний (Св-1201). Стандарт поширений на тягнутий і пресований дріт діаметром від 0,8 до 12,5 мм. Дріт постачають в упаковці; термін зберігання не більше 1 року з дня виготовлення. Зварювальний дріт підбирають із урахуванням однорідності з основним металом або з підвищенням вмісту одного або декількох елементів проти основного металу, враховуючи зменшення їх вмісту при зварюванні.

Вироби під зварювання підготовлюють так же, як і для зварювання покритими електродами. Деталі товщиною до 3 мм зварюють із відкритими кромками без присаджувального дроту. Зварювання товстих деталей потребує розчищення кромки під кутом 60-75° із застосуванням присаджувального дроту. Для видалення оксидної плівки використовують спеціальні флюси АФ-4а та ін., які наносяться помазком на кромки деталей безпосередньо перед зварюванням. Запічки флюсу сильно розідають алюміній, тому їх видаляють з поверхні шва промиванням водою або механічним способом. Зварювання виконують без коливальних рухів при куті вахилу електрода 10-20° до вертикалі з підформуванням із зворотного боку шва. Режими зварювання алюмінію вугільним електродом вказані в табл. 16.15.

Таблиця 16.15

Режими зварювання алюмінію вугільним електродом

Товщина металу, мм	1-2	2-4	4-6	6-8	8-12	15
Діаметр електрода, мм	6-8	8-9	10-12	10-12	12-15	15
Діаметр присадки, мм	-	3-4	4-5	4-5	5-6	6-8
Сила зварювального струму, А	100-180	180-240	220-300	250-350	300-400	350-600

16.4.6. Плазмове зварювання алюмінію

Особливістю плазмового зварювання алюмінію є стабільність процесу, зменшення зони термічного впливу, висока швидкість, можливість зварювання дуже тонких металів. Зварювання виконують на змінному струмі, оскільки постійний струм зворотної полярності потребує застосування спеціального пальника з примусовим охолодженням вольфрамового електрода. При мікроплазмовому зварюванні можна зварювати алюміній та його сплави товщиною 0,2-0,15 мм при силі зварювального струму 10-100 А із використанням електродів (з добавкою лантану) діаметром 0,8-1,5 мм. Плазмове зварювання потребує точного складання деталей і ведення пальника строго по зварюваному стику.

16.5. ЗВАРЮВАННЯ ТИТАНУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Головна перевага титану та його сплавів порівняно з іншими конструкційними матеріалами в тому, що при малій густині (4,5 т/см³) вони мають границю міцності від 450 до 1500 МПа і велику корозійностійкість у багатьох середовищах.

Фізичні властивості й висока температура плавлення титану (1660°C) потребують при зварюванні концентрованого джерела теплоти, але низький коефіцієнт теплопровідності та високий електричний опір створюють умови, при яких для зварювання титану треба менше електричної енергії. Титан практично немагнітний, тому при зварюванні зменшується магнітне дуття.

Головним недоліком титану є його здатність активно взаємодіяти при високих температурах з газами. При кімнатній температурі титан досить стійкий проти окиснення, але при високих температурах окисень легко різнивається в титані, що призводить до підвищення міцності і зниження пластичності. При тривалому підвішенні на титан, нагрітий вище 450°C, на його поверхні утворюється шар окислини, який складається з оксиду титану (TiO₂). Цей шар є джерелом кисню при зварюванні й причиною утворення тріщин у шві. Тому вміст кисню в титанових сплавах не повинен перевищувати 0,15%.

Азот різко підвищує міцність і знижує пластичність титану. При температурі 800°C утворюється нітрид титану, температура плавлення якого досягає 2950°C. Тому максимальний вміст азоту в титанових сплавах не повинен перевищувати 0,04–0,05%.

Водень, навіть при малому вмісті у титані, сприяє підвищенню крихкості і негативному впливу кисню й азоту. Здатність титану поглинати велику кількість водню призводить до утворення гідриду титану (TiH₂). При нагріванні проходить розпад гідриду титану та відновлюється ударна в'язкість. Гідриди, що утворюються усередині зерен і на їх межах, мають великий об'єм, що викликає появу тріщин. Водень також є джерелом утворення пор. Тому для зварювання необхідно використовувати сплави з мінімальною кількістю водню (не більше 0,010%), а електродний дріт піддавати відпалу.

Вуглець сприяє зниженню пластичності титану та його сплавів. Низька розчинність вуглецю в титані (декілька десятків відсотка) призводить до виділення карбідів і підвищення міцності й зниження пластичності.

У результаті активності титану до поглинання кисню, азоту та водню при зварюванні необхідний особливо надійний захист від цих газів. Такий захист здійснюється при дуговому зварюванні в інертних газах (аргон, гелій) або флюс-пастою, яку наносять на кромки зварюваних деталей.

Дугове зварювання титану та його сплавів покритими електродами, вугільною дугою і газовим полум'ям не використовуються.

Зварюванням цих видів неможливо забезпечити високу якість зварних з'єднань через надто велику активність титану до кисню, азоту й водню. Технічний титан з'єднують аргондуговим, дуговим під флюсом та іншими видами зварювання тиском (дифузійним та ін.).

Для зварних виробів використовують технічний титан, який містить домішки кисню, азоту, водню марок ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ-1 і з домішками алюмінію, олова, марганцю, ванадію, церію марок ВТ5-5, ВТ5-1, ВТ6, ВТ8, ВТ14.

16.5.1. Вимоги до технології складання титанових виробів і присаджувального матеріалу

Конструкції з титану та його сплавів необхідно складати з особливою відповідальністю тому, що точність складання й чистота кромок визначають якість зварного з'єднання.

Для захисту від окиснення зворотного боку з'єднання та зменшення деформації виробу складають на сталевих або мідних підкладках, через середню частину яких при зварюванні продувають інертний газ. При цьому забезпечують щільне прилягання кромок до підкладок по всій довжині.

Складати рекомендують у пристосуваннях, а за їх відсутності застосовують прихватки. Деталі з технічного титану прихватують без присадки, а леговані титанові сплави прихватують тільки із використанням присаджувального металу. Довжина прихваток становить 30–50 мм, крок – 300 мм. Їх виконують із зворотного боку шва для уникнення перегріву. На початку і в кінці шву прихватують технологічні пластини, призначені для запалювання дуги і виводу кратера. Зазор – не більше 0,3–0,5 мм, а притуплення кромок – не більше 10% товщини металу.

Зварювальний дріт, прутки й пластини повинні мати чисту, не шкварчену воднем і не забруднену маслом поверхню. У випадку забруднення присаджувальний метал чистять піскоструминною обробкою, протравлюють або застосовують механічну обробку. Для зручності зварювання дріт рубають на стрижні довжиною 300–400 мм. Дріт діаметром від 1,2 до 7,0 мм постачають після вакуумного відпалу при температурі 900–1000°C протягом 4 год.

16.5.2. Ручне зварювання титану вольфрамовим електродом

Цей спосіб зварювання використовують для коротких криволінійних швів. При товщині титану 0,5–1,5 мм зварювання виконують без присаджувального металу і без завору; при товщині 1,5–4,0 мм у деяких випадках застосовують присадку; при товщині понад 4 мм

виконують розчищення кромки із застосуванням присаджувального металу за декілька проходів. Підготовка кромки вказана в табл. 16.16.

Таблиця 16.16

Підготовка кромки при аргонодуговому зварюванні титану неплавким електродом

Стикове з'єднання	Товщина металу, мм	Зазор, мм	Пригуплення, мм	Кут розчищення, град
Без скосу кромки	До 4	До 0,5	—	—
З V-подібним розчищенням	4–10	0,4–1	1,5–2	70–90
З X-подібним розчищенням	10–25	1–2,5	1,5–2	50–70
З U-подібним розчищенням	>25	>2,5	1,5–2	30

Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Захисний газ повинен подаватися до початку запалювання дуги. Зварюють поверхневою або зануреною дугою (для деталей товщиною понад 3 мм). При зварюванні поверхневою дугою довжина її повинна бути в межах 0,5–2 мм. При зварюванні зануреною дугою електрод занурюють у кратер і переміщують по лінії шва. Коли товщина металу більше 3 мм зварюють у декілька проходів без інвальних рухів із наступним охолодженням до температури 100°C і зачищенням металу після кожного проходу.

Ознакою задовільної якості зварювання титану та його сплавів є відсутність кольорів мідливості на поверхні шва. Темні кольори мідливості аж до сніжного свідчать про недостатній захист металу при зварюванні.

Для зварювання титану товщиною 3 мм в якості присаджувального металу використовують технічний титан марки ВТ1. При більшій товщині і для зварювання титанових сплавів, які мають границю міцності більше 900 МПа, використовують присаджувальний метал за хімічним складом наближений до основного металу або легований алюмінієм (марки ВТ5) та іншими елементами.

Зварні з'єднання, виконані ручним аргонодуговим зварюванням, надають відпалу для запобігання появи тріщин. Температура відпалу зварних деталей із титану ВТ1, ОТ4-1 становить 550–600°C, із титану марок ВТ5, ВТ5-1, ОТ4, ВТ4, ОТ4-2 – 600–650°C. Втримування при відпалі дорівнює 20–40 хв, охолодження – на повітрі.

Режими ручного аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом титанових сплавів наведено в табл. 16.17.

Таблиця 16.17

Орієнтовні режими аргонодугового зварювання стикових з'єднань титанових сплавів

Товщина металу, мм	Діаметр вольфрамового електрода, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Витрати аргону (л/хв) для з'єднань	
					дуги	швидкого шва
<i>Без розчищення кромки</i>						
0,8	1,0	0,8–2,0	30–50	12–15	8–12	3–4
1,0	1,0–1,5	1,0–2,0	40–60	12–15	8–12	3–4
1,5	1,5	1,0–2,0	60–80	14–16	8–12	3–4
2,0	1,5–2,0	2,0	90–100	14–16	10–12	3–4
2,5	2,0	2,5–3,0	110–120	14–16	10–12	3–4
3,0	2,0	2,5–3,0	120–140	14–16	12–14	3–4
<i>V-подібна підготовка кромки під кутом 60°</i>						
4,0	2,0	2,5–3,0	120–130	14–16	12–12	3–4

Широко використовується автоматичне зварювання титану неплавким електродом (табл. 16.18).

Таблиця 16.18

Режими автоматичного аргонодугового зварювання неплавким електродом титану та його сплавів

Товщина металу, мм	Діаметр вольфрамового електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Довжина дуги, мм	Швидкість зварювання, м/год	Витрати аргону, л/хв	
						в зоні зварювання	із зворотного боку
1,0	1,5–2,0	60–80	8–10	1,5–2,0	25–30	14–15	3–4
1,5	1,5–2,0	80–100	10–12	1,5–2,0	25–30	14–15	3–4
2,0–2,5	2,0–2,5	120–200	12–14	2,0–2,5	20–25	18–19	4–5
2,5–3,0	2,5–3,0	200–220	12–14	2,0–2,5	20–25	24–25	4–5
4,0	2,5–3,0	220–260	12–14	2,0–2,5	15–20	27–28	4–5
10,0	2,5–3,0	220–260	12–14	2,0–2,5	15–25	27–28	4–5

Примітка. Діаметр присаджувального дроту становить 1,5–2 мм.

Використовується зварювання титану неплавким електродом із застосуванням флюсів-паст (АН-ТА, АН-Т17А, АН-Т23А та ін.).

16.5.3. Дугове зварювання титану в інертному газі плавким електродом

Для зварювання в якості захисних газів використовують суміш гелію з аргоном або чистий гелій. Зміна співвідношення цих газів дає можливість регулювати глибину й ширину провару. Найчастіше використовують суміш, яка містить 80% гелію і 20% аргону.

Зварювання рекомендують виконувати дротом діаметром 1,2–2,0 мм на постійному струмі прямої полярності. Стикові з'єднання товщиною 3–6 мм виконують із зазором або з V-подібним розчищенням кромки під кутом 60°. При більшій товщині роблять V- або X-подібні скоси кромки.

Режими зварювання титану в інертних газах плавким електродом узказані в табл. 16.19 і 16.20.

Таблиця 16.19

Орієнтовні режими зварювання стикових швів на титані плавким електродом у середовищі інертних газів без розчищення кромки

Товщина металу, мм	Діаметр зварювального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Швидкість зварювання, м/год (1·10 ⁻³ м/с)	Виліт електродного дроту, мм	Витрата захисного газу, л/хв
3–8	1,6	350–450	28–36 22–28	25–40 (7–11,2)	20–25	30–40 20–30
10–12	1,6–2	440–520	38–40 30–34	20–35 (5,6–0,8)	20–28	70–90 35–45
15	3	600–650	42–48 30–32	25–30 (7–8,8)	25–30	70–100 35–30
16–36	5	780–1200	46–52 34–38	15–25 (4,2–7)	40–55	100–120 50–60

Примітка. У дещо більшому — при зварюванні у вертикальній площині.

Таблиця 16.20

Режими механізованого аргондугового зварювання титану плавким електродом

Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр електродного дроту, мм	Напруга на дугі, В	Виліт електродного дроту, мм	Витрата газу, л/хв
4–8	150–250	0,6–0,8	22–24	10–14	20–30
8–12	340–520	1,6–2,0	30–34	20–25	36–45
14–34	480–750	3,0	32–34	30–35	38–50
16–36	630–920	4,0	32–36	35–40	50–60
16–36	780–1200	5,0	34–38	40–45	50–60

Примітка. 1. Режими наведені для стикових зварювань з'єднань з зазором. 2. Струм зварювання шестивольтової зворотної полярності.

16.5.4. Автоматичне зварювання титану під флюсом

Флюси, що використовуються для зварювання титану повинні забезпечувати надійний захист зони зварювання й ділянок охолодженого металу від впливу повітря, не виявляти окиснювального впливу на метал і бути порівняно тугоплавкими. Цим вимогам

відповідають безкиснеті флюси АН-Т1 (при товщині титану до 6 мм) і АН-Т3 (для зварювання титану великої товщини). Перед зварюванням флюси просушують при температурі 200–250°C протягом години. Структура металу, звареного під флюсом, близька дрібнозерниста і так при зварюванні в середовищі інертних газів. Зварювання під флюсом виконують на постійному струмі зворотної полярності. Режими автоматичного зварювання титану під флюсом наведені в табл. 16.21.

Таблиця 16.21

Режими автоматичного зварювання титану під флюсом

Діаметр електрода, мм	2	3
Зварювальний струм, А	160–180	310–340
Напруга, В	30–34	30–32
Швидкість зварювання, м/год	30–60	50
Виліт електрода, мм	12–16	16–22

16.5.5. Електрошлакове зварювання титану

Електрошлакове зварювання використовується для з'єднання титану великої товщини. Значніше електрошлакове зварювання не придатне для зварювання титану через нагрівання металу шва газом внаслідок контакту з повітрям. Тому при зварюванні титану застосовують піддування аргону в зону зварювання і виконують зварювання під флюсом АН-Т2, який складається з чистого фтористого кальцію. Цей флюс має температуру плавлення 1400°C і кипіння близько 2000°C, яка значно вища за температуру плавлення титану. Електрошлакове зварювання виконують змінним струмом під трансформаторі із жорсткою зовнішньою характеристикою.

16.5.6. Плазмове та імппульсно-дугове зварювання титану

Плазмове зварювання використовують для зварювання титану товщиною 0,5–12,5 мм і багатощарового зварювання металу товщиною понад 12 мм. Порівняно із зварюванням аргондуговым зварюванням неплавким електродом плазмове зварювання забезпечує меншу деформацію зварюваних виробів і більшу продуктивність.

Імппульсно-дугове зварювання використовують для зварювання тонколистового титану товщиною до 3 мм без присаджування дроту (табл. 16.22).

Технологія зварювання активних металів цирконію, титану, ніобію, молибдену подібна зварюванню титану і виконується в захисних камерах, наповнених інертними газами.

Орієнтовний режим механізованого імпульсно-дугового зварювання неплавким електродом у середовищі аргону стикових з'єднань із титану без розчищення кромок

Товщина зварюваного металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год ($1 \cdot 10^{-2}$ м/с)	Тривалість, с	
				імпульс	пауза
<i>Подібне зварювання</i>					
0,5	30–50	8,9	10–15 (2,8–4,2)	0,15–0,20	0,15–0,20
1,0	70–130	6–10	10–25 (2,8–7,0)	0,15–0,20	0,10–0,20
1,5	90–120	10–12	10–15 (2,8–4,2)	0,15–0,20	0,15–0,20
2,0	160–200	10–12	10–15 (2,8–4,2)	0,15–0,20	0,15–0,20
<i>Длибне зварювання</i>					
1,5	85–135	6,8	12–24 (3,4–6,8)	0,16–0,22	0,10–0,12
2,0	130–175	6–8	12–24 (3,4–6,8)	0,16–0,22	0,10–0,14
3,0	250	10	24 (6,8)	0,16	0,12

16.6. ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ НІКЕЛЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Нікель є важким кольоровим металом (густина $8,9 \text{ г/см}^3$) із температурою плавлення 1453°C . Йому властива висока стійкість проти корозії на повітрі, висока пластичність, м'якість і жароміцність. Завдяки цим властивостям нікель широко використовується в металургії, хімічній, харчовій, авіаційній та інших галузях.

Деталі з технічно чистого нікелю (Н-0, Н-1у, Н-1, Н-2, Н-3, Н-4) і його сплавів зварюють із міддю, хромом (ніхром), молибденом, кобальтом та іншими металами. Технічної нікель містить 99,8–97,6 % чистого нікелю. Найшкідливішими домішками при зварюванні є сірка й свинець, які сприяють утворенню тріщин. Незважаючи на малу спорідненість з киснем і високу пластичність, зварювання нікелю утруднюється через низьку стійкість металу шва проти кристалізаційних тріщин і пор. Причиною виникнення тріщин є сірка. Для послаблення впливу сірки в метал шва додають марганець і магній, які зв'язують сірку у тутоплавкі з'єднання. Для підвищення дрібнозернистості додають титан. Виникнення пор пов'язане з високою розчинністю водню в розплавленому нікелі, а виділення газів викликає появу пор. Для запобігання виникненню пор зварювання виконують короткою дугою.

Зварювання нікелю та його сплавів виконують дугою зварюванням у середовищі аргону, покритими електродом під шаром безкисневого флюсу, пугільним електродом із застосуванням флюсу, а також газовим зварюванням.

16.6.1. Аргондугове зварювання нікелю вольфрамовим електродом

Для запобігання пористості шва до аргону додають до 20% водню (при більшому – разом з воднем випускають пори). Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності, лівим способом, короткою дугою. Палильник нахилляють під кутом 20° – 30° до осі шва. Виліт вольфрамового електрода становить 12–15 мм. Для зварювання використовують присаджувальний дрот такого ж хімічного складу, як і основний метал, або нікель, легований реногенівачами (кремнієм, марганцем, титаном) марок Н-1; НП-1; НП-2; НМн 2,5; НМц АТЗ-1,5-0,6; НМц ТК 1,5-2,5-0,15; Х20Н80 (ніхром) та ін. Зварюють із максимальною можливою швидкістю і з мінімальними кінцевими рухами кінця електрода на відній відкладці або із захистом кореня шва аргоном. При багаторазовому зварюванні шар накладають після повного охолодження металу, зачищення від шлаку і обезжирювання. Допускається охолодження шва водою. Режими зварювання наведені в табл. 16.23.

Таблиця 16.23

Режими ручного аргондугового зварювання нікелю і його сплавів

Товщина металу, мм	Розчищення кромок	Число проківів	Діаметр, мм		Зварювальний струм, А	Виліт електрода, л/мм
			вольфрамового електрода	присаджувального дроту		
2	Без	1	1,5–2	1–1,5	70–90	8–10
	розчищення	2	2–2,5	1,5–2	80–100	8–10
4	V-подібне	2	2–2,5	2–2,5	80–100	8–10
		3	2–2,5	2,5–3	80–100	10–12
		4	2,5–3	3	100–120	10–12
6	X-подібне	2	2,5–3	2,5–3	90–120	10–12
		4	2,5–3	2,5–3	90–120	10–12
		4	2,5–3	2,5–3	100–120	10–12

16.6.2. Ручне дугове зварювання нікелю покритими електродом

Зварювання нікелю покритими електродом Н-37К використовують для деталей товщиною понад 1,5 мм. Технологію підготовки кромок наведено в табл. 11.24. Стрижень електродів виготовляють із нікелю НП-1, а товсте покриття складається з цинкового шпату, мармуру, феротитану, ферованадію, алюмінію, марганцю та інших елементів. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 30–45А на 1 мм діаметра електрода. Зварювання виконують короткою дугою в одні прохід із швидкістю на 15% вищою ніж при зварюванні сталей на постійному струмі зворотної полярності.

Таблиця 16.24

Підготовка кромок при стиковому зварюванні нікелю та його сплавів покритими електродами

Товщина металу, мм	З'єднання	Притуплення, мм	Зазор, мм
2-4	Без розчищення кромок	—	1-2
4-6 6-12	З V-подібним розчищенням під кутом 60-70°	0,5-1 1,5-2	1,5-2 1,5-3
8-12 12-20	З X-подібним двобічним розчищенням під кутом 60-70°	1,5-2,5 2-3	1,5-3 2-4

Можливе ручне зварювання нікелю електродами із стрижнем ПМц 2,5 і покриттям УОНИ-13/45, на постійному струмі зворотної полярності. Зварювання виконують у нижньому положенні, між кромками встановлюють зазор 2-3 мм.

Використовують жорстке кріплення деталей. Довгі шви зварюють окремими ділянками, розрив між діями зварюють після зачищення шлаку. Шов роблять з підсиленням, яке потім займають шліфуванням. Після зварювання виконують термообробку.

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання нікелю виконують зварювальним дротом марки ПМц 2,5 під фтористим флюсом.

Монель-метал та інші міднонікелеві сплави зварюють електродами із дроту ПМЖМц 28-2,5-1,5 з фтористокальцієвим покриттям.

16.7. ЗВАРЮВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

Магнієві сплави мають малу густину (1,74 г/см³), але високу міцність. У 1,5 рази легші за алюміній і в 4,5 рази легші за сталь. Ці властивості й визначають широке використання магнієвих сплавів.

Через невисокі механічні характеристики частіше магній для виготовлення деталей у машинобудуванні не використовують. При одержанні сплавів у ролі основних легуючих елементів використовують алюміній, цинк і марганець.

Промислові магнієві сплави прийнято ділити на деформовані (МА1, МА2, ..., МА19) і ливарні (МЛ2, МЛ3, ..., МЛ19). Хімічний склад їх регламентує ГОСТ 14957-76 і ГОСТ 2865-79. Цифри, що стоять після букв МА і МЛ означають порядковий номер марки сплаву. Магнієві сплави добре поглинають вібрації; вони немагнітні, а при ударах і терті жовсім не іскрять. Корозійність магнієвих сплавів невисока, тому виробів з них необхідно захищати утворенням захисних плівок із наступним покриттям лаками, фарбами, епоксидними і поліепоксидами.

При зварюванні магнієвих сплавів за оптимального вибору режиму зварювання й присаджувального матеріалу відношення міцності зварного з'єднання до міцності основного металу становить 0,6-0,90. Технологічна зварюваність деформованих магнієвих сплавів наведена в табл. 16.25.

Таблиця 16.25

Технологічна зварюваність деформованих магнієвих сплавів

Група сплавів	Марка сплаву	Зварюваність
<i>Нетермізованих:</i> високої міцності середньої міцності	МА1	Добро
	МА2, МА2-1, МА8, МА9	Задовільна
<i>Термізованих:</i> високої міцності жароміцні	МА5, МА14 МА11, МА13, ВМД1	Погано Задовільна

Трудноці зварювання:

- низька теплопровідність;
- близькість температур плавлення й спалаху (651°C);
- високий коефіцієнт лінійного розширення;
- велика хімічна спорідненість магнію з киснем;
- наявність тугоплавкої плівки (MgO), температура плавлення якої становить 2500°C.

Магнієві сплави зварюють вольфрамовим електродом у захисному газі аргоні. Дугове зварювання покритими електродами, вугільним електродом і талове зварювання застосовують рідко.

Перед зварюванням кромки деталей зачищають на ширину не менше 30 мм від мастила, захисної плівки та інших забруднень механічним або хімічним способом. Кромки магнієвих сплавів підготовлюють так само як і алюмінієвих сплавів.

Через низьку пластичність магнієвих сплавів кромки практично не відбортовують. Стикові шви без розчищення кромок зварюють за один прохід із підкладками, що мають канавки. Двобічне зварювання без розчищення кромок не рекомендується через небезпеку появи у шві оксидних включень.

При зварюванні металу товщиною понад 6-10 мм використовують V-подібне, а при товщині понад 20 мм — X-подібне розчищення кромок.

Зварювання вольфрамовим електродом в аргоні виконують на змінному струмі короткою дугою (1-2 мм) тому, що при цьому краще видаляється оксидна плівка і забезпечується ефективніший захист зварної ванни від навколишнього середовища. Режими ручного зварювання в аргоні сплавів МА1 і МА8 наведені в таблиці 11.26.

Таблиця 16.26

Режими ручного зварювання магнієвих сплавів

Товщина металу, мм	1,0–1,2	1,5–2,0	5,0–6,0
Зварювальний струм, А	85–100	105–140	220–260
Діаметр електрода, мм	2	2–3	4
Витрати аргону, л/хв	6–8	8–12	20–30

Для металу товщиною понад 5 мм використовують автоматичне зварювання паливим електродом із струминним перенесенням металу. Тонкий метал зварюють короткою дугою з періодичними миттєвими короткими замиканнями. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності.

При стиковому зварюванні без розчищення кромки за один прохід паливим електродом можна зварювати деталі товщиною 5–10 мм із силою струму 140–150 і 290–310 А відповідно і швидкості зварювання 25–28 м/год.

Зварювання вугільними електродами магнієвих сплавів виконують на постійному струмі прямої полярності із застосуванням флюсів із хлористих і фтористих солей (ВФ-156, МФ-1, ПФ та ін.), склад яких наведено в табл. 16.27. Флюс наносять на зварюванні кромки і присаджувальний метал з обох боків. У якості присадки використовують пресований дріт або прутки із сплаву, який має однаковий хімічний склад з осн. металом.

Таблиця 16.27

Склад флюсів для зварювання магнієвих сплавів

Компонент	Флюси			
	ПФ	МФ-1	№13	ВФ-156
Фтористий кальцій	17,4	25	13	14,8
Фтористий літій	21,2	15	16	19,8
Фтористий магній	26,2	10	19	24,8
Фтористий барій	35,2	30	26	33,0
Крідіт	–	20	–	4,8
Оксид магнію	–	–	–	2,8
Фтористий кальцій	–	–	15	–
Кислий фосфорновмісний літій	–	–	11	–

Покриті електроди для зварювання магнієвих сплавів виготовляють за тією ж технологією, що й для зварювання алюмінію. Міцність зварних з'єднань, які виконують у захисному газі аргону, досягає 60–90% міцності осн. металу.

16.8. ЗВАРЮВАННЯ СВИНЦЮ

Свинець – хімічно стійкий метал із високою механічною міцністю. Через високу корозійостійкість використовують у хімічній промисловості для облицювання сталевих апаратур, трубопроводів, посуду, які працюють у середовищі сірчаної, фосфорної та інших кислот, а також для покриття кабелів.

Труднощі зварювання:

- низька температура плавлення (327°C);
- висока рідкотекучість;
- низька теплопровідність;
- утворення тугоплавкого оксиду свинцю (PbO) з температурою плавлення 850°C.

Вироби із свинцю мають високу корозійостійкість проти впливу агресивних середовищ.

Дугове зварювання свинцю вугільним або графітовим електродами виконують на постійному і змінному струмі. Перенагу надають постійному струму прямої полярності. Сплавці товщиною до 4 мм зварюють вугільним електродом за один прохід, а при більшій товщині – за два-три проходи. Перший прохід виконують без присаджувального металу. Електрод розташовують перпендикулярно до деталей, а присаджувальний прутки – під кутом 30–45°. Зварюють без перерви з переміщенням вертикальними коливальними рухами електрода. При обриві дуги ділянку навколо кратера зчищають до металевого блиску, а потім продовжують зварювання. Для видалення оксидної плівки застосовують флюс із стеариною або суміш стеариною з каніфедлю у співвідношенні 1 : 1. Флюс перед зварюванням наносять на зачищені кромки деталей і поверхню присаджувального металу у вигляді смуг із листового свинцю або свинцевого дроту. При безфлюсовому зварюванні з поверхні зварної ванни сталевим гаком необхідно постійно видаляти шлак тугоплавкого металу. Режими зварювання вугільним електродом наведено в таблиці 16.28.

Таблиця 16.28

Режим дугового зварювання свинцю вугільним електродом

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Довжина дуги, мм
1–5	6–12	25–40	4–6
5–10	10–15	40–65	6–8
10–12	15–20	65–95	8–12
15–30	15–20	95–100	8–12

Зварювання свинцю вольфрамовим електродом виконують на постійному струмі прямої полярності електродом діаметром 1–1,5 мм загостреним під кутом 15–45°. Такі електроди одержують коротку

дугу малого перерізу, при горінні якої утворюється малий об'єм зварної ванни і, вразовувени рідкотекучість слинцю, зварювання полегшується.

Вертикальні, горизонтальні й стельові шви з'єднують з відбор- тонкою кромкою і вилупок. У нижньому положенні застосовують стикові з'єднання. Режими аргонодугового зварювання слинцю вольфрамовим електродом наведено в табл. 16.29.

Таблиця 16.29

Режими аргонодугового зварювання тонколистового слинцю вольфрамовим електродом

Положення шва	Діаметр електрода, мм	Зварю- вальний струм, А	Довжина дуги, мм	Витрати аргону, л/хв
Нижнє стикове	1,5	12–15	1,5	1,5–2
Вертикальне і стельове стикове	1	8–10	1	1,5
Горизонтальне вилупок	1,5	12–15	1,5	1,5–2
Вертикальне вилупок	1	8–10	1	1,5

Слинець також зварюють вольфрамовим електродом імпульсною дугою, яка забезпечує максимальне проплавлення металу на струмі 15–40 А і напрузі дуги 4–18 В у всіх просторових положеннях.

16.9. ЗВАРЮВАННЯ ЦИНКУ, СРІБЛА ТА ІНШИХ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Цинк використовують для виготовлення джерел струму, захис- ного покриття. Сплави цинку бувають ливарні (ЦА4, ЦАМ4-1) і ан- тифрикційні (ЦАМ9-1,5; ЦАМ10-5). З них виготовляють корпусні деталі, прилади, високоточні вироби, арматуру.

Температура плавлення цинку становить 419°C.

Для зварювання цинку застосовують газове та аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом. Режими зварювання цинку вольфрамовим електродом наведено в табл. 16.30.

Таблиця 16.30

Режими аргонодугового зварювання цинку вольфрамовим електродом

Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Швидкість зварювання, м/год
4	110–120	25
6	140–150	20
8	160–170	15

Примітка. Витрати аргону становлять 8–10 л/хв.

Із срібла виготовляють ювелірні вироби, електровакуумні при- лади, припої, покриття, акумулатори, електротехнічні вироби та ін. Температура плавлення срібла становить 960,5°C, густина – 10,5 г/см³.

Срібло зварюють вольфрамовим електродом на постійному стру- мі прямої полярності в середовищі аргону й газовим зварюванням із застосуванням флюсів на основі бурі. Режими аргонодугового зварювання срібла наведено в табл. 16.31.

Таблиця 16.31

Режими аргонодугового зварювання срібла вольфрамовим елек- тродом (постійний струм прямої полярності)

Товщина металу, мм	Умови зварювання	Діаметр електрода, мм	Зварю- вальний струм, А	Діаметр присаджувального дроту, мм	Витрати аргону, л/хв
1	Стикове з відбор- тонкою кромкою	2	60–70	–	3–4
2	Стикове без зварю	2	120–130	2–3	4–5
3	Стикове без зварю	3	150–160	3	6–7

Труднощі при зварюванні плавленням срібла та його сплавів викликані особливими фізичними властивостями металу. Велика теплопровідність срібла потребує застосування концентрованого джерела нагрівання і попереднього підігріву до температури 500–600°C. Високий коефіцієнт теплового розширення сприяє виникненню значних напруг і деформацій виробу. Велика розчинність кисню у рідкому сріблі призводить до утворення окенду срібла та евтектики Ag₂O–Ag; в результаті метал стає крихким. При зварю- ванні срібло інтенсивно випаровується.

Зварювання сплавів на основі срібла, які містять алюміній, мідь, кремній і кадмій, пов'язане з додатковими труднощами – схиль- ністю до внутрішнього окиснення. При окисненні легуючих доба- вок зникає пластичність. Через велику рідкотекучість срібла зварювання виконують у нижньому або похилому положеннях.

Аргонодугове зварювання срібла неплавним електродом вико- нують на постійному струмі прямої полярності з використанням аргону першого сорту. Рекомендують використовувати присаджу- вальний дріт із срібла з добавками розкиснювачів (нікелю, паладію та ін.). Ручне зварювання виконують справа наліво кутом уперед без поперечних коливань. Кут нахилу пальника до площини зварю- ваних деталей становить 60–70°, присаджувальний дріт подають під кутом 90° до вольфрамового електрода. Не варто виводити дріт із зони, захищеної інертним газом, тому що кінець присадки може окиснитись.

Зварювання стикових з'єднань в основному виконують на підкладках з обов'язковим піддувом інертного газу для захисту зворотного боку (кореня) шва. Можливе також зварювання срібля у вигляді пологої. При цьому в міру нагрівання металу в процесі зварювання рекомендують зміщувати електрод зварювального струму до значень, які забезпечують виконання шва без провалів і протікання.

Механічні властивості з'єднань із срібла, виконаних електродуговим зварюванням, вищі за механічні властивості з'єднань, виконаних газовим зварюванням.

Сплави ванадію, ніобію й танталу зварюють неплавким електродом у середовищі аргону (табл. 16.32).

Таблиця 16.32

Режими механізованого зварювання тонколистових сплавів ванадію, ніобію й танталу неплавким електродом у середовищі аргону

Сплав	Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга, В	Швидкість зварювання, см/с
Ванадій	0,5	10	8-9	0,8-1,1
	1	14	9-10	1,4
	2	320	16-18	1,4
Ніобій	0,5	80	8-10	0,8-0,9
	1	160	10	1,1
	2	240	10	0,4
Танталу	0,5	60	8-10	0,8-0,9
	1	140	10-12	0,7-0,8
	2	180	12-14	0,7-0,8

Для механізованого зварювання деталей із сплавів хрому, молибдену й вольфраму неплавким електродом у середовищі гелію та аргону встановлюють режими, вказані в табл. 16.33.

Таблиця 16.33

Режими механізованого зварювання тонколистових деталей із сплавів хрому, молибдену і вольфраму неплавким електродом у середовищі гелію та аргону

Сплав	Товщина металу, мм	Швидкість зварювання, см/с	Зварювання в гелії		Зварювання в аргоні	
			зварювальний струм, А	напруга, В	зварювальний струм, А	напруга, В
Хрому	1	0,3	65	18	80	10
		0,6	90	17	110	10
		1,1	150	17	170	12
		2,2	190	18	210	12

Сплав	Товщина металу, мм	Швидкість зварювання, см/с	Зварювання в гелії		Зварювання в аргоні	
			зварювальний струм, А	напруга, В	зварювальний струм, А	напруга, В
Хрому	2	0,3	135	18	150	10
		0,6	200	17,5	220	10
		1,1	240	17,5	265	12
		2,2	290	18	315	12
Молибдену	1	0,3	120	17,5	135	10
		0,6	140	18	160	12
		1,1	160	18	230	12
		2,2	240	17,5	330	10
	2	0,3	225	18	240	10
		0,6	270	18	300	10
		0,8	320	17,5	350	12
Вольфраму	1	0,3	170	18,5	—	—
		0,6	190	20	230	12
		1,1	320	20	—	—
		2,2	340	21	—	—
	2	0,3	280	17	—	—
		0,8	320	19	360	12
		2	470	20	—	—

Найкращі результати при зварюванні в захисних інертних газах кольорових металів і сплавів дає використання джерел живлення дуги імпульсним струмом. При значному зварюванні в захисних газах короткою дугою для зменшення зварної ванни струм знижують до мінімального, що може призвести до виникнення непроварів. Імпульсне зварювання допускає значно більше тепловкладення порівняно із зварюванням з короткими замиканнями, що викликає непровар металу. При імпульсному зварюванні крапля з кінця присаджувального дроту відривається під час проходження імпульсу і відновлюється після нього. Цей процес послідовно повторюється і виникає струмінне перенесення металу з постійною частотою та стабільними розмірами дрібних крапель. Це забезпечує якісне зварювання у всіх просторових положеннях.

Перевагою імпульсного зварювання вольфрамом електродом є підвищена стабільність горіння дуги, однакова якість металу шва по всій його довжині, відсутність розбрикування металу.

1. Охарактеризуйте трудності зварювання міді.
2. Які є способи зварювання міді?
3. Назвіть основну трудність зварювання латуні.
4. Які особливості зварювання бронзи?
5. Поясніть трудності зварювання алюмінію.
6. Які є способи зварювання алюмінію?
7. Назвіть труднощі зварювання титану та його сплавів.
8. Як виконують дугове зварювання нікелю і його сплавів?
9. Назвіть особливості зварювання магнетитних сплавів.
10. Охарактеризуйте технології зварювання свинцю, цинку, срібла та інших кольорових металів і сплавів.
11. Які присаджувальні матеріали використовують для зварювання міді вугільним електродом?
12. Які покриття електроди застосовують при зварюванні міді?
13. Назвіть основні способи зварювання міді в кислих газах.
14. Назвіть режими автоматичного зварювання міді під флюсом.
15. Вкажіть способи зварювання латуні.
16. Які особливості зварювання латуні вугільним електродом?
17. Як зварюють латунь під флюсом?
18. Назвіть способи дугового зварювання бронзи.
19. Охарактеризуйте підготовку кромок до зварювання алюмінію.
20. Назвіть марки електродів для зварювання алюмінію.
21. Охарактеризуйте особливості аркондугового зварювання алюмінію.
22. Назвіть особливості використання прямокутної форми струму при зварюванні алюмінію.
23. Які вважають способи зварювання титану та його сплавів?

ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ТУГОПЛАВКИХ І РІЗНОРІДНИХ МЕТАЛІВ

17.1. ЗВАРЮВАННЯ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ

Нижньою межею температури плавлення тугоплавких металів вважають температуру плавлення хрому (1875°C). Тугоплавкі метали активно взаємодіють з більшістю газів. При взаємодії з киснем спостерігається зниження пластичності, особливо молібдену й вольфраму. У зв'язку з окисненням і випаровуванням оксидів тугоплавких металів для роботи при підвищених температурах їх поверхню необхідно захищати.

При взаємодії тугоплавких металів (крім ренію) з воднем спостерігається підвищення крихкості. Азот також негативно впливає на пластичність тугоплавких металів. Разом з тим нітриди тугоплавких металів сприяють їх зміцненню.

При зварюванні в місцях дефектів, які знаходяться на поверхні кромок, утворюються замкнені порожнини, заповнені газами, парами води і продуктами їх розкладу. При розплавленні металу ці порожнини перетворюються у бульки, які потрапляють у зварну ванну і при кристалізації утворюють пори.

Для усунення пор при зварюванні тугоплавких металів рекомендують такі заходи: полірування й детальне очищення кромок від забруднень, зварювання із залором, попередній підігрів, збільшення тривалості існування зварної ванни.

Високі температури плавлення й теплопровідність більшості тугоплавких металів сприяють підвищенню швидкості кристалізації та утворенню крупнозернистої структури. При цьому підвищується крихкість і виникають тріщини. Для запобігання виникненню тріщин використовують присаджувальні матеріали, які забезпечують високу пластичність металу шва, регулюють напрям тепловідводу при кристалізації, використовують заходи щодо обмеження залишкових напружень у металі шва.

Для з'єднання тугоплавких металів використовують дугове зварювання в середовищі інертних газів, електронно-променевого і лазерного зварювання. Підготовку поверхні тугоплавких металів виконують переважно хімічними травленнями або електронноліруваннями. Особливу увагу приділяють підготовці поверхонь торців кромок, які перед зварюванням додатково знежирюють.

При електродуговому зварюванні тугоплавких металів захисним середовищем є аргон і гелій. Товщина зварюваних металів визначена від 0,2 мм і більше. Широко використовується зварювання вольфрамовим електродом без присаджувального металу. При товщині металу понад 3 мм застосовують дугове зварювання плазменним електродом. Зварювання виконують змінним і постійним струмом прямої полярності.

Суттєвий вплив на формування металу шва, структуру й механічні властивості зварних з'єднань тугоплавких металів мають умови тепловідводу та режими зварювання. Оптимальні значення параметрів режимів зварювання для різних сплавів тугоплавких металів визначаються хімічним складом сплаву, геометричними розмірами, умовами тепловідводу й способами зварювання (табл. 11.32, 11.33).

Для підвищення механічних властивостей тугоплавких металів використовують легувальні елементи, які нейтралізують шкідливий вплив домішок. До таких елементів належать вуглець, цирконій, титан, рений та ін.

17.2. ЗВАРЮВАННЯ РІЗНОРІДНИХ МЕТАЛІВ

Різнорідними металами називають метали та сплави на їх основі, які відрізняються за хімічним складом і структурою. Їх поділяють на дві групи: різнорідні метали з різною основою й різнорідні метали з однією основою. З'єднання різнорідних металів визначається фізико-хімічними властивостями з'єднуваних металів і технологією зварювання. Найхарактернішими властивостями, які визначають зварюваність різнорідних металів, є межа кристалічної розчинності, різниця температури плавлення, співвідношення коефіцієнтів теплового розширення, взаємодія з газами і шлаками.

Процес утворення з'єднань поділяють на три стадії:

- зближення поверхонь на відстань, яка забезпечує утворення фізичного контакту;
- утворення міцних хімічних зв'язків між атомами з'єднуваних металів;
- розвиток дифузійних процесів у зоні зварного шва.

Умовою утворення необмеженої кристалічної розчинності металів є неперевиконання різниці їх атомних діаметрів більше ніж на 15%. У більшості випадків взаємодія між різними елементами характеризується низькою взаємною розчинністю та утворенням складних інтерметалевих з'єднань. Додатковою трудностю зварювання різнорідних металів є їх висока хімічна активність у нагрітому й розплавленому стані з киснем, азотом, воднем, вуглецем, які утворюють хімічні сполуки, що знижують механічні властивості зварних з'єднань. Існує декілька способів зварювання різнорідних металів.

17.2.1. Зварювання з розплавленням з'єднуваних поверхонь

Метали зварюють між собою з розплавленням з'єднуваних поверхонь, а концентрація елементів повинна бути суворо регламентована. Задану концентрацію в металі шва одержують зміщенням джерела тепла в бік одного з металів або розплавляючи відбортвану кромку одного з металів.

17.2.2. Зварювання з розплавленням легкоплавкішого із з'єднуваних металів

При цьому способі зварювання розплавляють один із з'єднуваних металів, який має нижчу температуру плавлення. Хімічні зв'язки утворюються в процесі змочування рідким металом поверхні твердого металу і з наступною дифузєю. Таке зварювання застосовують для з'єднання металів із значною різницею температур плавлення.

17.2.3. Зварювання металів із розплавленням легкоплавкішого металу та нанесенням покриття на поверхню тугоплавкішого металу

Зварювання різнорідних металів із розплавленням одного з них можливе при ретельному дотриманні параметрів режиму, які визначають час контакту між твердим і рідким металами. Нанесення покриття на поверхню твердого металу збільшує допустимий час контакту і розширяє діапазон режимів. Покриття повинні складатися з елементів, які не утворюють хімічних сполук з елементами зварюваних металів, і сприяти гальмуванню дифузійних процесів на межі контакту з'єднуваних металів або підтримувати розчинність елементів, які впливають на утворення хімічних сполук. Наприклад, при зварюванні алюмінію із сталлю гальмуванням способом на поверхню сталі наносять шар цинку (40–60 мкм) з наступним алітуванням (нанесенням алюмінію).

17.2.4. Зварювання різнорідних металів через проміжні вставки

При взаємодії деяких металів утворюються крихіткі хімічні сполуки та евтектики. Тому їх зварюють за допомогою проміжних уставок із металу, який добре зварюється з обома металами або через біметалеві вставки із з'єднуваних металів, одержаних тиском. Наприклад, при зварюванні сталі з титаном застосовують вставку із

ванадію або міддю вставку з боку сталі і ніобію з боку титану із наступним зварюванням міді з ніобієм. Для з'єднання алюмінієвих сплавів із корозійстійкими сталлями застосовують біметалеві вставки, які одержують зварюванням вибухом.

17.2.5. Зварювання різномірних сплавів покритими електродами

Порівняно проста технологія зварювання різномірних сплавів покритими електродами. Для зварювання сталей із сплавами на нікелевій основі використовують електроди марки ЦТ-28 (ширина валків – до 2,5 діаметра електрода).

Електроди марки ОЗЛ-32 застосовують для зварювання вуглецевої сталі з нікелем, корозійстійких сталей з нікелем та інших різномірних сплавів. При зварюванні електрод тримають майже вертикально, дугу обривають, повільно відводячи її на наплавлений метал. Зварювання виконують штовхавими валками. Допускаються поперечні коливання з амплітудою до 2 мм.

Для зварювання міді із сталлями використовують електроди марки АНЦ-ОЗМ-2, «Комсомолец-100». Мідь попередньо підігрівують до температури 150–350°C і вище залежно від її товщини.

Електродами марки ВІ-ІМ-1 зварюють різномірні сталі й сплави. При цьому одержують метал шва типу Х19М1 А163Г2В.

Контрольні запитання та завдання

1. Які метали називають тугоплавкими?
2. Поясніть труднощі зварювання тугоплавких металів.
3. Назвіть методи усунення пор при зварюванні тугоплавких металів.
4. Назвіть способи зварювання тугоплавких металів.
5. Які захисні газ використовують при електродуговому зварюванні тугоплавких металів?
6. На які групи поділяють різномірні метали?
7. Охарактеризуйте особливості зварюваності різномірних металів.
8. Назвіть способи зварювання різномірних металів.
9. За якої умови виникає шкідлива розчинність металів при зварюванні різномірних металів?
10. Назвіть стадії процесу утворення з'єднань різномірних металів.

18.1. ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС, МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

З року в рік у різних галузях промисловості збільшується рівень застосування пластичних мас. Вони використовуються у вигляді облицювальних, теплоізоляційних і санітарно-технічних матеріалів різної фурнітури, електроізоляційних виробів, а також як основний матеріал для виготовлення зварних конструкцій. В цій якості пластичні маси в основному застосовують у вигляді трубопроводів різного призначення, а також лінійної апаратури, переважно смкостей.

Пластмаси є сумішками, зварюваність яких визначає їх основа – полімер. У полімери вводяться стабілізатори, пластифікатори, пігменти, наповнювачі та ін. Пластифікатори добре впилаються на зварюваність. Пластмаси поділяються на дві групи: термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти).

Термопласти при нагріванні розм'якшуються (пластяться), тобто переходять у в'язкотекучий стан. При багаторазовому нагріванні у них виникають значні хімічні зміни.

При нагріванні реактопластів у них проходять реакції утворення тримірних структур, що виключає їх повторне розм'якшення. Важливою характеристикою полімеру є залежність деформації від температури – термомеханічна крива. Вона дозволяє оцінити, при яких температурах полімер знаходиться в склоподібному, високоеластичному й в'язкотекучому (розплавленому) стані. В ряду полімерів макромолекули утворюють не тільки ближні, а й дальні порядки. Такі полімери одержали назву кристалічних. Тому в основі зварювання розрізняють зварювання способами плавлення і хімічне.

18.2. ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ (ДИФУЗІЙНЕ)

Принцип зварювання заснований на властивостях полімерних матеріалів при нагріванні вище від визначених температур або в стані набухання (при введенні розчинника) переходить у в'язкотекучий стан. Остаток при наявності ціляного контакту деталей, які з'єднуються, сприяє виникненню міжмолекулярної взаємодії й реалізації дифузійного механізму.

Властивості пластмас, які використовуються для зварювання

Вид пластмаси	Щільність, кг/м ³	Граничні навантаження, МПа, при			Відносне видовження, %	Граничні застосування	
		розтягу	стиску	згину		робочий тиск, МПа	температура, °С
Поліетилен високої щільності (ПВЩ)	920–930	12–16	11,5	12–17	150–160	До 1	-70...108
Поліетилен низької щільності (ПНЩ)	940–960	32–34	40–45	45–60	200–90	До 1	-70...120
Полівінілхлорид (ПВХ)	1380	50	80–100	100–120	10–25	До 1,6	-20...60
Полістирол	1070	35–60	Д 120	37–80	1–5	До 1	До 80

Для забезпечення щільного контакту зварних поверхонь і видалення прошарків, які перешкоджають взаємодії макромолекул, необхідно, крім нагріву або введення розчинника, прикладати зусилля.

При цьому в зоні контакту протікають реологічні процеси (перемішування розплаву, орієнтація), які визначають якість зварного з'єднання.

Основні параметри режиму зварювання – температура й час нагрівання зварних деталей, тиск при зварюванні та час його дії.

При зварюванні від дією нагріву й прикладених зусиль осідання, в процесі охолодження в шві і в біляшовній зоні виникають місцеві напруження та можуть утвердитися тріщини. Тому зварні шви не рationally піддавати навантаженням відразу після зварювання. Але через 10–20 год після зварювання напруження релаксуються. Цей процес може бути прискорений термічною обробкою шва.

Цим способом з'єднуються термопласти і еластомеропласти.

18.3. ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

В основі лежить процес встановлення хімічних зв'язків між макромолекулами. Воно може бути здійснено за рахунок групи зварних полімерів або за допомогою речовин, які утворюють місток і вводяться у зварний шов. Наприклад, додатковим нагрівом до температури, що перевищує температуру затвердіння, примушують прореагувати між собою реакційноздатні групи реактопластів (основи фенолформальдегідних, азидоформальдегідних смол, які залишаються на поверхневих шарах деталей). Присадку у вигляді розчинної смоли додають при зварюванні пластмас на основі епоксидних полімерів. Нагрівання здійснюється за допомогою струму високої частоти або ультразвуку.

Хімічне зварювання ефективно при з'єднанні орієнтованих термопластичних плівок і волокон, зварні шви яких повною зберігають вихідні фізико-механічні властивості вихідного матеріалу, які втрачаються при плавленні. В якості присадок використовують багатоосновні кислоти та їх хлорангідриди. Хімічне зварювання-зшивання може здійснюватися і без присадкового матеріалу, в результаті дії нейтронного або рентгенівського випромінювання.

18.4. СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

Для виготовлення зварних конструкцій використовують термопластичні полімери (термопласти), які добре з'єднуються зварюванням. У табл. 18.1 наведені основні властивості деяких пластмас, які застосовуються найчастіше.

Процес зварювання пластмас може проходити у в'язкому стані у вузьких температурних границях: вище температури розм'якшення, але нижче температури розкладання пластмаси.

Контактне теплове зварювання виконується нагрівом інструментом двома способами: зварювання оплавленням і проплавленням (рис. 18.1). У першому випадку нагрівач діється до зварних поверхонь; у другому – тепло до зварних поверхонь поступає через товщину деталей, а нагрівач контактує із зовнішньою поверхнею зварних деталей. Першим способом зварюють деталі значної товщини, другим – тонкі листи та плівки, що утворюють напустакове з'єднання.

При цьому використовують різні схеми нагріву зварних деталей. Нагрівачі можуть бути у вигляді плівки, стрічок, дисків, профільних плінок, ниток, голок.



Рис. 18.1. Схема контактного теплового зварювання нагріваним інструментом
1 – поверхні деталей; 2 – нагріваний інструмент

Основні схеми контактної теплової зварювання нагрівальним інструментом листових матеріалів зображено на рис. 18.2.

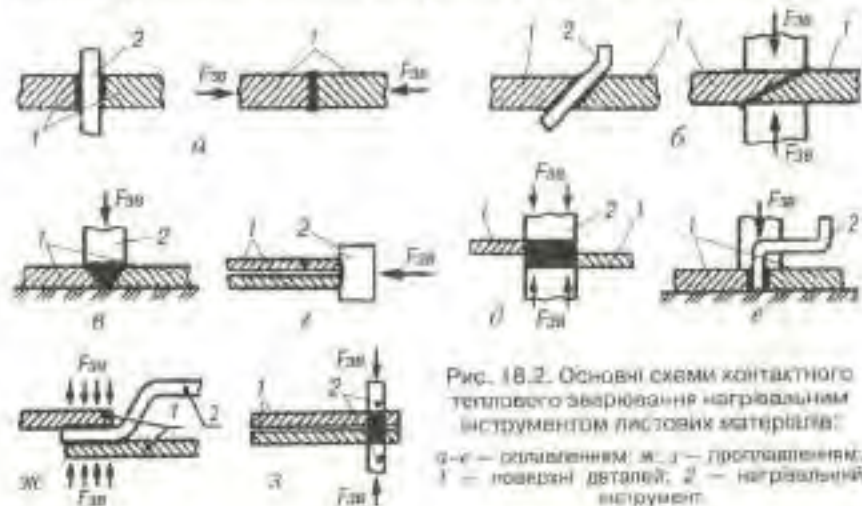


Рис. 18.2. Основні схеми контактної теплової зварювання нагрівальним інструментом листових матеріалів:
а-е — опалювання; ж-з — притиснення;
1 — поверхні деталей; 2 — нагрівальний інструмент.

18.4.1. Зварювання пластмасових труб

Пластмасові труби мають ряд переваг перед металевими: невелика щільність, висока корозійна стійкість, відносно низьке значення спрямованого опору, знижені енергетичні витрати при експлуатації трубопроводів; підвищеною продуктивністю праці при виготовленні й особливо при монтажі. Разом з тим вони мають певні недоліки: невисокі показники міцності, що знижуються при підвищених температурах; низька морозостійкість поліетилену, поліпропілену та полівінілхлориду; схильність до старіння. Але незважаючи на вказані недоліки, пластмаси успішно витісняють металеві трубопроводи, які працюють під тиском до 1 МПа і температурі до 50–100°C.

Труби й деталі із термопластів мають розміри по зовнішньому діаметру 10–360 мм, причому зовнішній діаметр не змінюється з товщиною стінки. Залежно від робочого тиску труби із поліетилену випускають чотирьох типів: легкий (на тиск до 0,25 МПа), середньолегкий (до 0,4), середній (до 0,6) і важкий (до 1 МПа). Із поліетилену виготовляють труби легкого, середнього й важкого типу, а з полівінілхлориду — середнього та важкого.

Технологічний процес одержання якісного з'єднання складається з таких операцій:

- очищення внутрішньої поверхні кінців труб, зміщення кромки не повинно перевищувати 10% товщини стінки труби;
- механічної обробки кромки з метою видалення окислених і забруднених шарів матеріалу, забезпечення паралельності кромки;

- опалення кромки нагрівачем. Температура і час опалення залежить від матеріалу, геометричних параметрів труб;
- видалення нагрівача та осадка;
- витримування після осадки для забезпечення виступання кромки під тиском, запобігаючи зниженню якості стику при протіканні релаксаційних процесів.

Схема контактної теплової зварювання труб зображена на (рис. 18.3).

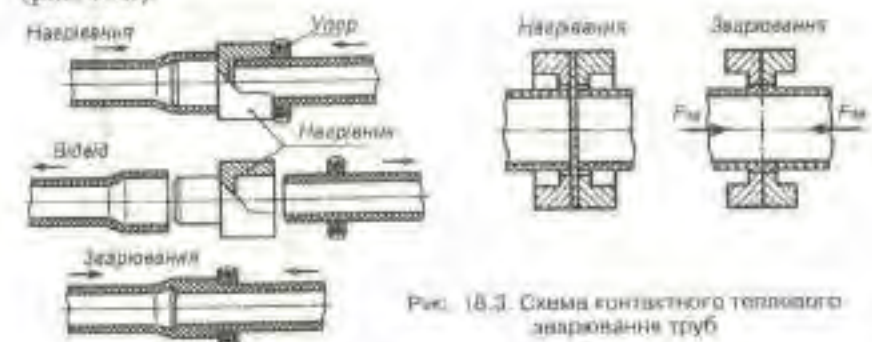


Рис. 18.3. Схема контактної теплової зварювання труб

При **контактному зварюванні труб уроструб** одночасно опалюється внутрішня поверхня роструба і зовнішня поверхня кінця труби. Після опалення на задану глибину, кінець труби швидко всувається в роструб. Зварювання уроструб виконується на тих же умовах, що й стикове. Але в цьому випадку нагрівач складається з двох елементів: гільзи для опалення кінця труби і дорна для опалення внутрішньої поверхні роструба. Дорн і роструб можуть мати циліндричну або конічну поверхню. Різниця між діаметром гільзи й дорна циліндричного інструмента повинна становити 0,5–1 мм.

Орієнтовні режими контактної зварювання труб наведено в табл. 18.2.

Таблиця 18.2

Основні технологічні параметри зварювання уроструб поліетилену

Показник	Поліетилен низької щільності з циліндричними поверхнями	Поліетилен високої щільності з конічними поверхнями
Температура зварювання, °C	300 ± 20	250–270
Час опалення, с, при товщині стінки, мм:		
до 4	5–10	7–12
5	6–15	10–15
8	8–18	15–20
більше 8	10–20	—

Примітка: 1. Технологічна пауза не більше 2 с. 2. Час витримки під повним навантаженням до частинного зварювання опаленого матеріалу становить 5–15 с.

Зварювання газом теплоносієм з присадковим матеріалом (рис. 18.4) застосовується для виготовлення динамічного обладнання, трубопроводів та з'єднань із поліестеру й поліетилену з товщиною елементів вище 2 мм. Зварювати можна вручну.

Деталі товщиною 4 мм і більше зварюють прутками за декілька проходів (декількома шарами). Необхідно підварювати коріння розробки із зворотного боку, запобігаючи цим непровару. В якості газу-теплоносія використовується повітря. Можна також використовувати азот, вуглекислий газ або аргон. Основні параметри режиму — температура газу на виході із сопла, його витрати, а також пов'язані з ним швидкість зварювання і зтек на присадковий пруток.

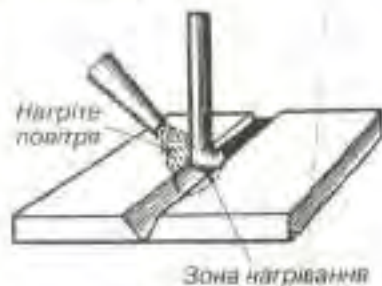


Рис. 18.4. Схема ручного зварювання газом теплоносієм із присадковим матеріалом

Технологічні прийоми, що використовуються при дуговому зварюванні металів, можна застосовувати й при цьому способі зварювання пластмас. При зварюванні газом теплоносієм тепло на зварні поверхні подіється нагрітим струменем газу, повітря. Зварювання може виконуватися з присадкою та без неї. Присадка — це прутки круглого перерізу ($\Phi 2 - 6$ мм), а при зварюванні плівок — стрічки шириною 10–15 мм. До складу присадки входить 3–10% пластифікатора. Жорсткі пластики товщиною до 2 мм зварюють без розробки кромки і без зазору. Пластики більших товщин зварюють із розробкою кромки (кут — $45-70^\circ$, зазор — 0,5–1,5 мм).

Цим способом з'єднують плівки з поліаміду, поліетилену низької щільності і поліетиленгерефилота (рис. 18.5; 18.6).

Для з'єднання жорсткого й пластифікованого полівінілхлориду та інших пластмас товщиною 3 мм і більше кромки листів перед зварюванням зрізують «на вузь» під кутом $20-25^\circ$.

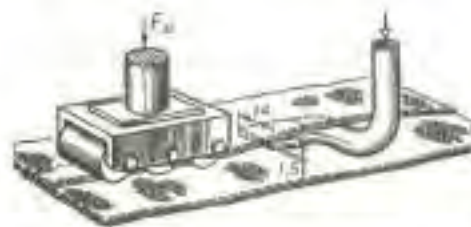


Рис. 18.5. Схема механізованого неперервного зварювання плівки газом теплоносієм



Рис. 18.6. Загальний вигляд механізованого зварювального вузла і зварювальної головки: 1 — сопло; 2 — присадковий матеріал; 3 — зварювальна головка

Часом конструкція виробу дозволяє зварювати пластмасу без присадкового матеріалу шляхом розм'якшення і стискування кромки деталей, напусткового з'єднання (рис. 18.7).

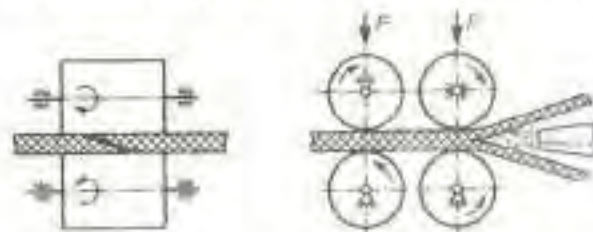


Рис. 18.7. Зварювання нагрітим газом без присадкового матеріалу; F — сила стиску

Газовий струмінь при температурі $250-300^\circ\text{C}$ нагріває різниці кромки. Швидкість зварювання становить 30–50 м/год; міцність зварних швів — 80–90% міцності основного матеріалу.

Зварювання екструдованою присадкою виконується за такими схемами: розплавлений присадковий матеріал безперервно надходить у зону з'єднання із сопла екструдера, який знаходиться на деякій відстані від зварних кромки, як різновид цього способу нагрівте сопло може торкатися кромки, додатково нагріваючи їх. Це й є контактний-екструзійне зварювання (рис. 18.8).



Рис. 18.8. Схема зварювання термопласти екструдованою присадкою: 1 — екструдер; 2 — розплавлений матеріал; 3 — рамка

Екструдованою присадкою можна зварювати V- і X-подібну розробку кромки. Кут при V-подібній розробці кромки становить $70-100^\circ$, при X-подібній — $60-80^\circ$; зазор — 0,5–1,5 мм, діаметр струменя розплаву — 3–4 мм, температура присадкового матеріалу — $220-280^\circ\text{C}$. Міцність з'єднання підвищується при обтисканні шва рамками.

Зварювання екструдованою присадкою проводять при заповненні розробки розплавленим матеріалом 2, який безперервно надходить з екструдера 1. Матеріал нагріває з'єднувальні поверхні та сплавляючись з ними, утворює зварний шов. Надійні з'єднання утворюються при обтисканні шва рамками 3.

Тертям зварюють такі ж з'єднання, як при зварюванні металів. Фігурні фаски на торцях труб (рис. 18.13) запобігають зміщенню крамок, які зможуть проявляти при зварюванні стовбів.

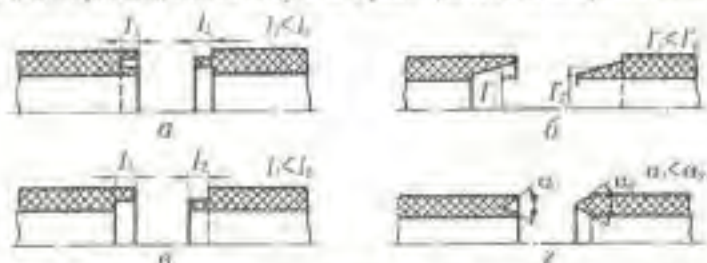


Рис. 18.13. Конструкції розробки крамок труб під зварювання тертям
а-г — фігурні фаски на кінцях труб

Зварювання вібротертям шляхом відносних переміщень деталей з частотою до 100 Гц і амплітудою до декількох міліметрів дозволяє зварювати деталі різної форми.

Зварювання променем лазера ефективніше при з'єднанні полімерних плівок (рис. 18.14). Промінь лазера 2, який вийшов з оптичного квантового генератора 1, відбивається від відхилючого дзеркала 3, фокусується лінзою 4 і здійснює зварювання плівки 7, яка переміщується транспортуючим роликком 6 і притискує роликком 5.

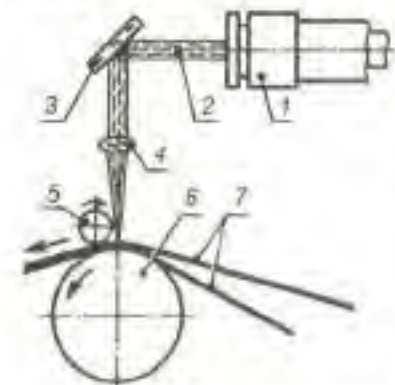


Рис. 18.14. Схема зварювання плівки променем лазера.

1 — генератор; 2 — лазер; 3 — дзеркало; 4 — лінза; 5 — притискує ролик; 6 — транспортуючий ролик; 7 — плівка

За допомогою лазерного променя зварювання можна зварювати пластмасу значно більшої товщини, ніж при використанні CO₂ лазера. Суть процесу променювального зварювання пластмас, коли одна з них непрозора, а інша прозора, полягає в тому, що пластмаса з лівим зусиллям притискається до нижньої непрозорої пластмаси. Промінь діодного лазера без втрати енергії проникає в зону зварювання, де внаслідок виділення тепла проходить зварювання. Якщо зварюють дві прозорих пластмаси, які поглинають лазерне випромінювання, покриття наносять у зоні з'єднання однієї з пластмас, яка зварюється.

У якості поглиначів лазерного променя при зварюванні пластмас використовували сірку, якою забруднювали зварне з'єднання. В лазерному проникаючому зварюванні використовують безколірне

поглинаюче середовище, що ліквідує будь-яке забруднення. Інфрачервоне поглинаюче середовище дозволяє зробити зварний шов прозорим пластмас практично невидимим.

Лазерне зварювання пластмас потребує значних первочергових затрат. Але такі переваги лазерного зварювання, як можливість керування потужністю лазерного променя в процесі зварювання, точність наведення лазерного променя, висока якість зварного з'єднання та екологічна безпека швидко відшкодовують ці затрати.

Високошвидкісне проникаюче лазерне зварювання особливо ефективно при зварюванні термопластичних плівок унапруготок, наприклад, у пакувальній промисловості. Вивчається можливість застосування його в біології, медицині, при зварюванні водонепропускної тканини.

18.4.2. Застосування зварювання пластмас при газифікації

Темпи робіт з газифікації сільських помешкань можна значно прискорити, якщо для розвідних газопроводів застосувати замість сталевих труб поліетиленові. Зарубіжний досвід показує, що виробництво й застосування поліетиленових труб вимагає значно менших енергетичних витрат, вони технологічніші при будівництві, не потребують антикорозійного покриття й захисту, в 3–4 рази довговічніші в експлуатації, дозволяють у 2–3 рази скоротити термін будівництва і в 8–10 разів зменшити транспортні витрати. При цьому одержують значну економію коштів, оскільки при застосуванні таких труб не потрібні нафтобітуми, крафтпапір, скловолокно та електроди. Через це в західних країнах розвідні газопроводи в 85–90% випадків будують із поліетиленових труб. За кордоном поліетиленові труби застосовуються також при реконструкції сталевих газопроводів, які після служби амортизаційні строки (до 30% від усіх мереж). Цей метод ремонту полягає в тому, що поліетиленові труби протягують у трубопроводі, що ремонтується. Це дозволяє підвищити не тільки надійність, а й безпеку подальшої експлуатації газопроводів. При такому ремонті за запобіжними заходами витрати становлять не більше третини суми, потрібної для здійснення ремонту традиційними методами, а термін робіт скорочується в 4–5 разів. Значно зменшуються обсяги земляних робіт і руйнування дорожніх покриттів.

Науково-виробничою фірмою «Полімербуд» розроблені технічні умови ТЕРУВ.2.5.-21547843.1-97 «Труби поліетиленові зовнішнім діаметром від 20 до 225 мм для газопроводів». Вони пройшли необхідні узгодження, експертизи та введені в дію на території України з 10 лютого 1998 р.

Технічні умови розроблено з урахуванням вимог міжнародного стандарту й проекту ЄС. Указані технічні умови поширюються на

поліетиленові труби діаметром від 20 до 225 мм для газопроводів, призначених для підземного транспортування природних горючих газів, які використовуються як сировина чи паливо у промисловості чи комунальному господарстві).

Відповідно до вимог указаних технічних умов, труби повинні виготовлятися у прямих відрізках, бухтах і котушках. Труби виготовляються із композицій поліетилену з мінімальною мішністю 0,8 МПа. Виготовлення труб із вторинного поліетилену не допускається. Максимальний робочий тиск у газопроводі розраховують із урахуванням коефіцієнта запасу мішності, який вибирають із урахуванням умов експлуатації. Оптимальні способи зварювання залежать від зовнішнього діаметра труби (табл. 18.3).

Таблиця 18.3

Залежність способу зварювання від номінального діаметра труби

Номінальний зовнішній діаметр, мм	Спосіб зварювання
20–225	Терморезистивне зварювання
20–110	Зварювання нагрітим інструментом у розтрубі
63–225	Зварювання нагрітим інструментом усюди

Контрольні запитання та завдання

1. На які групи поділяються пластмаси?
2. У чому суть зварювання плавленням пластмас?
3. Які основні параметри режиму зварювання пластмас?
4. У чому суть хімічного зварювання пластмас?
5. Де використовується контактне зварювання пластмас нагрітим інструментом?
6. Охарактеризуйте контактне теплове зварювання пластмасових труб.
7. Назвіть особливості зварювання пластмас газовим теплоносієм.
8. Охарактеризуйте особливості зварювання пластмас екструзійною присадкою.
9. Назвіть особливості зварювання пластмас струмами високої частоти.
10. Назвіть особливості зварювання пластмас ультразвуком.
11. Охарактеризуйте особливості лазерного зварювання пластмас.
12. Які перспективи застосування поліетиленових труб у народному господарстві України?
13. Виберіть спосіб зварювання для терморезистивних пластмас.
14. Виберіть час оплавлення і температуру зварювання для поліетилену високої мішності.

ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ

19.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАПЛАВЛЕННЯ

Наплавленням називається процес нанесення шару розплавленого металу або сплаву на поверхню виробу. Наплавлення використовують для відновлення спрацьованих деталей та отримання виробів із заданими властивостями поверхні: стійкістю проти спрацювання, жароміцністю, жаро- і кислотостійкістю, антифрикційністю та ін. Використання наплавлення знижує витрати дорогих і дефіцитних легированих сталей, спеціальних сплавів, підвищує надійність і термін роботи машин (механізмів).

Використовується ручне дугове наплавлення плавкими й неплавкими електродами; автоматичне та напіваавтоматичне наплавлення під флюсом і в захисних газах; плазмове, вібродугове, електрошлакове, індукційне, імпульсно-дугове й газове наплавлення. Найчастіше наплавлення виконують електричною зварювальною дугою.

На відміну від зварювання при наплавленні приймає участь невелика кількість основного металу, яка проплавляється на малу глибину. Тому внутрішні напруги та деформації й схильність виробу до утворення тріщин незначні. Задані властивості наплавленого шару одержують введенням до його складу легувальних елементів. Легування виконують за рахунок взаємодії металу за шлаку, поглинанням елементів із навколишнього газового середовища, введенням у зварну ванну металевих добавок. Найважливішим при наплавленні є одержання однорідного хімічного складу наплавленого металу та заданих властивостей виробу.

Механізоване наплавлення відрізняється від ручного безперервністю процесу завдяки використанню електродного дроту або стрічки і спеціальних пристроїв для подачі електродного матеріалу та механізмів для пересування джерела теплоти або наплавленого виробу.

19.2. НАПЛАВЛЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

За способом виробництва матеріали для наплавлення поділяють на покриті електроди, наплавлювальні суцільні дроти й стрічки, флюси, вольфрамові дроти та стрічки, прутки й зернисті (порошкові) дроти.

сплави (див. підрозділ 6.4). Для наплавлення матеріали підбирають залежно від призначення і необхідної твердості наплавленого шару.

Для відновлення форми і розмірів деталей використовують звичайні зварювальні дроти та електроди, які дають наплавлений метал низької твердості. За ГОСТом 10543-82 виготовляється сталевий наплавлювальний дріт діаметром від 0,3 до 8 мм. Стандартом передбачений вуглецевий дріт 9 марок (Нп-25, Нп-85 та ін.), легований дріт 11 марок (Нп-40Г, Нп-30ХГСА та ін.), високолегований дріт 10 марок (Нп-20Х14, Нп-30Х10Г10Т, Нп-Х20Н80Т та ін.).

ГОСТ 10051-75 передбачає 44 типи покритих електродів для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями, які забезпечують твердість наплавленого шару від 28 до 66 HRC. Застосування, режим наплавлення та характеристики покритих електродів наведені в табл. 19.1.

Таблиця 19.1

Характеристика покритих електродів для наплавлення

Марка електрода	Твердість наплавлення, HRC	Призначення електродів	Режими наплавлення (діаметр електрода, мм; струм, А; полярність)
ОЗН-250	22-25	Кінці рейок, вагонні та авто-тракторні деталі, валів, осей	Ø 4: 170-200 Ø 5: 210-240 Постійний струм зворотна полярність
ОЗН-300	24-32	Залізничні хрестовини, вагонні, авто-тракторні деталі та ін.	Ø 4: 170-200 Ø 5: 210-240
ОЗН-350	26-37	Залізничні хрестовини, вагонні, авто-тракторні деталі тощо	Ø 4: 170-200 Ø 5: 210-240
ОЗН-450	37-40	Швидкозношувані деталі з високою твердістю	Ø 4: 170-200 Ø 5: 210-240
T-590	55-62	Сталеві й чавунні деталі, які працюють без ударного навантаження в абразивному середовищі (шпори дробилок, лопатки та колеса землевпорядників)	Ø 4: 200-220 Ø 5: 250-270 Змінний і постійний струм
T-620	58-59	Швидкозношувані деталі із сталі й чавуну, що працюють в умовах сильного стирання та ударних навантажень (шпори дробилок, зуби ковзних екскаваторів)	Ø 4: 200-220 Ø 5: 250-270 Постійний струм
О(Н)-1	54-55 (після наплавлення) 50-60 (після термообробки)	Ріжучий інструмент і штампи	Ø 3: 80-110 Ø 4: 120-150 Ø 5: 160-200

Примітка. Наплавлення електродом виконують у важкому польовій, T-590 – у важкому й позитивному.

Порошковим дротом наплавляють виробні під флюсом, у захисних покш і відкритою дугою. Для наплавлення під флюсом деталей з вуглецевих сталей використовують порошкові дроти марок ПП-АН120, ПП-АН121, ПП-АН122, для наплавлення високомарганцевих сталей – ПП-АН105, для наплавлення високохромистих сталей – ПП-АН170. Для наплавлення під флюсом і відкритою дугою застосовують універсальні порошкові стрічки марок ПЛ-АН101, ПЛ-АН102. При наплавленні порошковим дротом використовують струми меншої величини ніж для зварювання. При цьому температура проплавлення металу виробу знижується, а наплавленою метал менше переміщується з основним і твердість наплавленого шару зростає.

Для наплавлення в середовищі аргону і гелієвим полум'ям використовують дроти з литих твердих сплавів. Їх випускають діаметром 6-8 мм і довжиною до 400 мм (табл. 19.2).

Таблиця 19.2

Тверді сплави для наплавлення

Матеріал	Марка	Характеристика	Твердість, HRC	Застосування	Примітка
Литі тверді сплави у вигляді прутків	Стеліт В2К, В3К	Сплав вольфраму та хрому, змішаний кобальтом і азотом	46-48 42-43	Деталі, що працюють при високій температурі	
	Сормайт 2, Сормайт С27 (сплав сормайт 1)	Сплав карбиду хрому з азотом і нікелем (до 5%)	40-45 59-54	Деталі, що працюють при нормальних і підвищених температурах	Замінюють стеліт, але більш крихкі
Твердий сплав у вигляді трубчастого стрічки	Релат Т3	Труба (Ø6×0,5 мм) з низьковуглецевої сталі, заповнена дрібнодисперсним карбідом вольфраму	85	Буровий інструмент і деталі, що працюють в умовах сильного абразивного стирання	При наплавленні розширюється сталева оболонка, а дрібнік зварюється в наплавленій шпори шарбіку польофрону (85%) і заліза (15%)
Метало-керамічні тверді сплави у вигляді пластин	ВК, ТК, ТТК, «ніобіт»	Карбід вольфраму, тоталу, ніталу змішаний кобальтом і азотом	90-91	Для металоріжучого інструмента	Пластину наклеюють на основу за допомогою мікродрюкових припоїв, щоб уникнути перегрівання

Для наплавлення також використовують спеціальні зернисті (порошководібні) сплави.

Вокар – зерниста суміш подрібненого вольфраму і вуглецю, використовується для наплавлення бурового інструмента. Твердість першого шару становить 50–58 HRC, другого – 61–63 HRC.

Віслом складається з 5% ферохрому, 15 феромарганцю, 74 частини стружки і 6% графіту. Використовується для наплавлення лемехів, двсків, зубів та інших деталей сільськогосподарських машин. Твердість наплавлення становить 250–320 НВ.

Боридна порошкова суміш БХ складається з 50% боридів хрому і 50% злианого порошку. Твердість наплавленого шару становить 82–84 HRA.

Карбідно-боридна порошкова суміш КБХ (5% хрому, 5 бориду хрому, 60 ферохрому, 30% злианого порошку).

Сталініт М складається з пориридія вуглецевого ферохрому, феромарганцю, нафтового коксу з чауниною стружкою. Використовують для наплавлення ковпів екскаваторів, ножів бульдозерів тощо. Твердість наплавленого шару становить 52HRC. Співвідношення значень твердості, визначеної різними методами, наведені в додатку 7.

Для автоматичного та напівавтоматичного наплавлення використовують ті самі флюси, що й для зварювання. Хромонікелеві сталі наплавають під флюсом марки АН-26, високохромисті чауни – АН-28. Електрошлакове наплавлення виконують із флюсами АН-6, АН-25. Наплавлення коліс мостових кранів, опорних котків і роликів гусеничних тракторів виконують з керамічним флюсом АНК-18. Робочі поверхні бульдозерів, грейдерів наплавають із флюсом АНК-19.

19.3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛАМИ РІЗНИХ ТИПІВ

19.3.1. Наплавлення нелегованих і низьколегованих сталей

Нелеговані й низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,4% використовують для відновлення розмірів деталей або нанесення проміжного шару. Якщо наплавлення виконують сплавами з підвищеним вмістом вуглецю (сталі 35, 40, 40Х, 40ХН) і сірки (35ЛК, 30Л та ін.), то можлива поява тріщин. Щоб уникнути їх необхідно зменшувати частку основного металу в наплавленому. Для цього зменшують крок наплавлення, збільшують виліт електрода, нахиляють електрод кутом вперед, виконують наплавлення на спуск, застосовують наплавлювальні стрічки, багатоелектродне наплавлення і попередній підігрів.

Для наплавлення масивних деталей використовують підігрів до 200–250°C, а при наплавленні невеликих деталей достатньо теплоти дуги (автопідігрів).

Нелеговані та низьколеговані сталі з вмістом вуглецю понад 0,4% призначені для наплавлення колінчастих валів, ножів, штампів тощо. Трудністю наплавлення є схильність наплавленого металу до утворення гарячих й холодних тріщин. Для цього виконують попередній підігрів до температури 350–400°C або наплавлення проміжного шару з низьковуглецевою сталлю дротом Св-08, Св-08 ТС та ін. Після наплавлення забезпечують повільне охолодження.

Якщо наплавлена деталь підлягає механічній обробці, то її відпалюють. При цьому твердість знижується до 20–25 HRC. Після механічної обробки виконують гартування, твердість наплавленого металу збільшується до 50–60 HRC.

19.3.2. Наплавлення теплостійких інструментальних сталей

Теплостійкі інструментальні сталі (хромовольфрамові, хромо-молібденові) наплавають на деталі, що піддаються впливу великих тисків і змін температури. Для запобігання утворенню тріщин, зниження залишкових напруг і оптимізації оптимальної структури наплавленого металу виконують попередній підігрів вище 300°C. Температуру підігріву вибирають залежно від хімічного складу основного й наплавленого металу, розмірів і маси деталі. Після наплавлення виконують повільне охолодження, а для масивних деталей – відпуск при температурі 520–540°C і охолодження в печі.

Наплавлення самозахисним порошковим дротом вимагає строгого виконання режимів наплавлення, особливо напруги дуги, при підвищенні якої погіршується захист наплавленого металу від навколишнього середовища та утворюються пори.

19.3.3. Наплавлення швидкорізальних сталей

Швидкорізальні сталі використовують для наплавлення різального інструменту. Трудності наплавлення пов'язані із схильністю наплавленого металу до утворення тріщин. Щоб уникнути тріщин застосовують попередній та супровідний підігрів до 500–600°C і повільне охолодження після наплавлення в печі.

До наплавленого металу не ставлять вимоги щодо пластичності і не піддають куванню. Для підвищення стійкості проти спрацювання і червоноламкості метал додатково легують.

19.3.4. Наплавлення корозійостійких сталей

Корозійостійкі хромисті сталі з вмістом вуглецю до 0,2% використовують для наплавлення арматури, роликів машин, напінжерів гідропресів і штампів деяких видів. При вмісті вуглецю понад 0,2%

наплавлений метал схильний до утворення тріщин. Тому при наплавленні виконують попередній, а для масивних деталей – су-проводний підігрів до температури вище 350°C.

У сталях X12, X12M, X12BF холодне тріщини усувають за рахунок підігріву до температури 400–550°C і повільного охолодження. Твердість наплавленого металу сталі X12 становить 40–46 HRC, яку підвищують до 55–60 HRC за рахунок відпуску при температурі 550–570°C. Застосовують наплавлення відкритою дугою та під флюсом.

19.3.5. Наплавлення високомарганцевих сталей

Високомарганцеві сталі використовують для наплавлення деталей, які підлягають абразивному спрацюванню в поєднанні з сильними ударами. Найпоширенішою є сталь Гадфілда 110Г13Л. При охолодженні з високою швидкістю від температур вище 950°C сталь, що містить 0,8–1,6% вуглецю і 12–20% марганцю, набувають високої міцності, пластичності й низької твердості 180–200 НВ. Наплавлений метал здатний до зміцнення під впливом ударних навантажень, а твердість зростає до 500 НВ, підвищується стійкість проти абразивного спрацювання. При відсутності таких навантажень поверхневий шар не зміцнюється, а спрацьовується як звичайна низьковуглецева сталь. При повільному охолодженні наплавлений метал стає крихким і схильним до утворення тріщин і відколів. Тому високомарганцеві сталі не рекомендують для виготовлення й наплавлення деталей, які працюють при високих температурах. Щоб уникнути крихкості наплавленого металу, процес наплавлення ведуть із мінімальним тепловкладанням, використовуючи мінімальний струм, напругу та підвищену швидкість наплавлення. Необхідно також змінювати місце наплавлення.

Для механізованого наплавлення застосовують дріт Нп-Г13А (наплавлення під флюсом) і самозахисний порожковий дріт ШП-Нп-90Г13Н4. Для зменшення дефектів при наплавленні високомарганцевих сталей на вуглецеві сталі рекомендують проміжний шар наплавити дротом типу Св-08Х20Н10Г6.

19.3.6. Наплавлення хромонікелевих і хромонікелемарганцевих сталей

Хромонікелеві та хромонікелемарганцеві нержавіючі сталі при наплавленні на вуглецеві конструкційні сталі мають схильність до утворення кристалізаційних тріщин і зниження корозійної стійкості. Для уникнення дефектів наплавленого шару обмежують вміст у ньому шкідливих домішок застосовують основні електродні покриття

й фторидні флюси; використовують наплавлення іррозміжачи шару застосовують технологічні прийоми, що обмежують проплавлення основного металу.

Для боротьби з міжкристалітною корозією в наплавленому металі обмежують вміст вуглецю на рівні 0,02–0,03%, або легують його титаном, ніобієм, з'являючи вуглець у міцні карбіди цих елементів. Для запобігання виникненню кристалізаційних тріщин обмежують вміст сірки, фосфору, кремнію, частину нікелю замінюють марганцем, додатково легують злотом, молибденом, вольфрамом, використовуючи дроти Св-08Х20Н10Г6, Св-10Х16Н25АМ6 та електроди ЭА-395/9.

19.3.7. Наплавлення високохромистих чавунів

Високохромисті чавуни використовують для підвищення довговічності деталей, які підлягають газу- та сідрабразивному спрацюванню. Легування високохромистого чавуну бором підвищує стійкість проти спрацювання, але знижує вплив ударним навантаженням.

Наплавлений метал схильний до утворення холодних тріщин, які не переходять в основний метал і майже не впливають на абразивне спрацювання. Недопустимим є розлашування тріщин вздовж потоку гідро- і газобразивних частинок. Для зменшення холодних тріщин виконують попередній підігрів до температури 500–600°C і повільне охолодження в печі.

19.3.8. Наплавлення нікелевих сплавів

Корозіє- та жаростійні нікелеві сплави, леговані хромом і молибденом, мають високу жароміцність, стійкість проти термічної втоми, майже не схильні до утворення тріщин. Для наплавлення сплави використовують у вигляді порошків для плазмового наплавлення та у вигляді дроту для наплавлення у захисних газах і під флюсом. Якщо в якості основного металу використовують загартовані сталі, то рекомендують попередній підігрів, температура якого визначається складом основного металу. Після наплавлення використовують повільне охолодження. За кордоном такі сплави відомі під назвою хастеллой та інковель.

Нікелеві сплави леговані хромом, бором, кремнієм (колмоної) мають високу стійкість проти різних агресивних середовищ, стійкість проти утворення задірок, високу стійкість проти спрацювання при сухому терті металів. Колмоної мають відносно невисоку температуру плавлення (980–1100°C) і для їх розплавлення необхідна менша потужність ніж для розплавлення сталей. Наплавлення виконують на менших режимах із попереднім підігрівом від 300 до 500°C, а після наплавлення забезпечують повільне охолодження.

19.3.9. Наплавлення кобальтових сплавів

Кобальтові сплави з хромом і вольфрамом (стеліти) використовують для наплавлення через їх високу жароміцність, корозійність, стійкість проти спрацювання при терті металів без мащення, здатність зберігати твердість при високих температурах. Наплавлений метал схильний до утворення гарячих і холодних тріщин, тому наплавлення виконують із попереднім підгрівом до температури 600–700°C, а в масивних деталях застосовують супровідний підгрів. Після наплавлення забезпечують повільне охолодження. Стеліти використовують у вигляді порошків, прутків і покритих електродів. Найкращий результат одержують при плазмі-порошковому наплавленні, при якому основний метал в наплавленому становить 5–7%. При наплавленні покритими електродами частка основного металу в наплавленому сягає 30%, а необхідний хімічний склад одержують тільки в третьому або четвертому шарі. Це збільшує витрати дорогого наплавляючого металу.

19.3.10. Аргонодугове наплавлення прутками із сплаву сормайт

Присаджувальні прутки із сплаву сормайт мають такі умовні позначення: Пр-С1 (тип ПрН-У39Х28Н4С3), Пр-С27 (тип ПрН-У45Х28Н2СВМ) ГОСТ21449-75. Вони призначені для ацетилено-кислевого або дугового наплавлення неплавким електродом деталей, які працюють в умовах абразивного спрацювання.

Перед наплавленням поверхню деталі детально очищають від окислини та забруднень. Установлюють у горизонтальне положення та виконують попередній підгрів до 400–500°C в печах або пальниками. Аргонодугове наплавлення виконують на постійному струмі прямої полярності при кінцевому заточуванні вольфрамового електрода і витратах газу 6–8 л/хв. Наплавлення деталей малих і середніх розмірів виконують лівим способом. Деталі великих розмірів для досягнення високої швидкості процесу наплавляють правим способом – зліва направо. Доцільно наносити вузькі валики або валики шириною 2–3 діаметра присаджувального прутка. Надто велика амплітуда коливань призводить до утворення пор. Охолодження наплавлених деталей необхідно виконувати в печах методом накривання азбестовою тканиною або у піску. Твердість наплавлення дугою в середовищі аргону нижча, ніж твердість при наплавленні ацетилено-кисневим вогнем.

Сплави на основі карбідів вольфраму або хрому забезпечують високу стійкість в умовах абразивного спрацювання. Технологія й техніка наплавлення сплавів на основі карбідів повинна забезпечувати їх мінімальну розчинність в основному металі. Застосовують індукційне, газове, дугове та пічне наплавлення. Широко викорис-

товується наплавлення дугим карбідом вольфраму (релітом). Для наплавлення використовують реліт у вигляді зерен різного розміру (реліт-3), у вигляді сталених трубок, заповнених релітом (реліт-Т3), у вигляді сталеної стрічки, заповненої релітом (реліт АН-Л3).

19.3.11. Наплавлення срібла

Через низьку міцність і з метою економії срібло часто використовують в якості плакованого корозійостійкого шару. Срібло, наплавлене безпосередньо на сталь, погано з нею зчеплюється. На дній складованні спостерігається велика кількість пор, можливе виникнення тріщин у сталевому шарі. Тому рекомендують проміжне наплавлення нікелем, міддю або сплавами на їх основі. Проковування наплавленого шару в гарячому стані дозволяє ущільнити й підвищити пластичність, знизити напрути.

При аргонодуговому наплавленні срібла на сталь використовують флюс такого складу: 30–35% тетрафторборату калію, 35–40 кріоліту, 20–25 фтористого натрію, 5–10% хлористого натрію. При наплавленні з флюсом міцність з'єднання підвищується: при наплавленні без флюсу вона становить 29,4–39,2 МПа, при наплавленні з флюсом – 98,1–137,3 МПа.

19.4. ТЕХНІКА НАПЛАВЛЕННЯ

Продуктивність наплавлення – це найбільша кількість наплавленого металу за одиницю часу. Вона залежить від способу виконання наплавлення і становить, кг/год:

- 0,8–3 при наплавлюванні покритими електродами;
- 1,5–8 у вуглекислому газі;
- 2–15 при автоматичному наплавлюванні під флюсом;
- 5–30 при автоматичному наплавлюванні під флюсом стрічкою;
- 2–9 самозахисним порошковим дротом;
- 10–20 порошковою стрічкою;
- 2–12 при плазмовому наплавленні;
- 1,2–3 при вібродуговому наплавленні;
- 20–60 при електроннопроменевому наплавленні дротаними електродами;

– до 150 при електроннопроменевому наплавленні електродом великого перерізу.

Техніка наплавлення дротом передбачає накладання виткових валиків із перекриттям попереднього валика на 1/3 його ширини або валиків із поперечними коливаннями електрода. Наплавлення можна виконувати витковими валиками на деякій відстані одні від

пабією, а після віддаєння шлаку наплавляти валики у певних проміжках. Пластик поверхні наплавляють широкими валиками з використанням конісильних рухів електрода.

Наплавлення тіл обертання виконують вздовж осі або коловими рухами (валиками) за динетовою лінією. Наплавлення за гвинтровою лінією виконують при діаметрі деталей не більше 100 мм. При напавленні покритими електродами весь деталь розміщують горизонтально, а при напавленні півавтоматом — вертикально.

При напавленні зернистих порошків використовують вугільний електрод. Поверхню виробу очищають від іржі, масла та бруду. На поверхню наносять тонкий шар (0,2–0,3 мм) бури (флюсу) і шар пиліти (порошку) сплаву висотою 2–7 мм і шириною 30–40 мм. Пилітаний шар вирівнюють і ущільнюють. Напавлення вугільною дугою виконують на постійному струмі прямої полярності або змінним струмом з осцилятором. Рівній поверхні напавленого шару досягають, виконуючи поперечні й поступальні рухи електродом (рис. 19.1.) Можна виконувати напавлення у декілька шарів, але загальна товщина, для уникнення тріщин і викридувань, не повинна перевищувати 5–6 мм для сталівіту, 3–4 для вокару, 1,4–1,7 мм для боридної суміші. Порошководібні сплави можна напавляти й металевими електродами, але твердість напавлення знизиться.

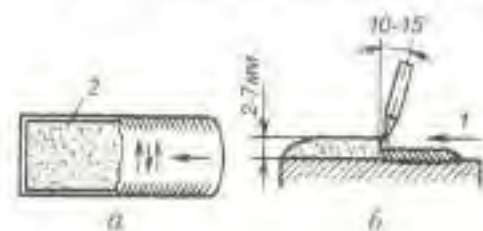


Рис. 19.1. Положення вугільного електрода при напавленні порошководібних твердих сплавів:

а — переміщення електрода; б — вид з боку; 1 — (стріла) запальний напрям напавлення; 2 — шар пиліти (порошку)

Для ручного напавлення використовують трубчасті електроди з порошкового дроту. Для зменшення деформації і напруг після напавлення застосовують проковування. Напавлення повинне забезпечувати якість формування напавленого шару, щоб зменшити напруження на механічну обробку.

19.5. ВИДИ НАПАВЛЕННЯ

Напавлення виконують ручними та механізованими способами. З механізованих способів найчастіше використовують напавлення під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, відкритою дугою, пібродуговою та електровідульською, струмами високої частоти, електршлаковим й спеціальні способи напавлення кольорових і композиційних сплавів.

Ручне дугове напавлення використовують при відновленні спрацьованих поверхонь, браку лиття, для напавлення поверхонь із спеціальними властивостями. Ручне дугове напавлення виконують покритими плавками та неплавкими електродами. При напавленні плавким електродом поверхню детально зачищають і виконують напавлення окремими валиками. Кожний наступний валик повинен розплавляти попередній на 1/3–1/2 його ширини. Підбирають електрод, враховуючи умови експлуатації виробу.

Порошкові суміші напавляють вугільним (графітовим) електродом на постійному струмі прямої полярності. Дугу збуджують на основному металі, потім переносять на шпигу, яка розплавляється з мінімальним пропавленням основного металу.

Напавлення плавким і неплавким електродом у середовищі захисних газів дозволяє механізувати процес у будь-якому просторовому положенні напавлюваної площини. В якості захисних газів використовують аргон, гелій, вуглекислий газ та ін.

Аргон використовують для напавлення жароміцних, нержавіючих та інших сталей і кольорових металів. Вуглекислий газ використовують для напавлення вуглецевих і деяких легированих сталей. Автоматичне напавлення в середовищі CO₂ у 3–4 рази підвищує продуктивність і на 30–40% знижує собівартість відновлення деталей порівняно з ручним дуговим напавленням.

Напавлення вольфрамовим електродом виконують у середовищі аргону. Властивості напавленого металу забезпечуються завдяки використанню присаджувального дроту спеціального складу.

Напавлення плавким електродом в інертних газах призводить до підвищеного вмісту основного металу в напавленому. Тому часто використовують додатковий присаджувальний дріт. Такий спосіб застосовують при напавленні високолегированих хромонікелевих сталей і сплавів.

Автоматичне напавлення під флюсом виконують сталевим зварювальним дротом, поришквим дротом, стрічковим електродом, порошковою стрічкою, під плавленими або керамічними флюсами. Напавлення можна виконувати одним електродом окремими валиками, одночасно декількома електродами й електродною стрічкою. Використовують стрічки суцільного перерізу та порошкові.

За допомогою напавлення під флюсом можна нанести шар металу будь-якого хімічного складу товщиною від 2 мм. Процес напавлення під флюсом відрізняється універсальністю і широкими можливостями підвищення продуктивності праці. Режими автоматичного напавлення під флюсом вказані в табл. 19.3.

Таблиця 19.3

Режимні автоматичного наплавлення під флюсом

Діаметр електродного дроту, розміри стрічки, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Швидкість наплавлення, м/хв
<i>Дріт суцільного перерізу</i>			
2	300–400	28–34	15,5–61
3	300–600	30–36	
4	400–800	34–40	
5	500–1000	36–45	
<i>Порошковий дріт</i>			
2,0	150–250	26–30	20–50
2,5	180–300	28–34	
3,0	200–400	5,6–14	
3,6	240–450	34–40	
<i>Стрічка електродна стрічка</i>			
60×0,5	500–800	24–28	10–20
100×0,5	800–1000	30–34	

Найпоширенішими способами є наплавлення розплавленою дугою, багатоелектродне і багатодугове.

Плазмове наплавлення виконується стисненою дугою (плазмою) такими способами:

- плазмою прямої дії з подачею дроту;
- з подачею порошку в плазмову дугу;
- по парі нанесеного легуючого матеріалу;
- із струмоведучим присадкувальним дротом;
- з двома плавкими електродами.

Електрошлакове наплавлення залежно від положення наплавлюваної поверхні поділяють на горизонтальне, вертикальне й похиле. Цей спосіб наплавлення використовують для виготовлення біметалевих деталей з антикорозійними і шносійкими шарами. В якості присадкувальних матеріалів використовують дроти, стрічки, відкриті або стрижки різних розмірів, виходячи із розмірів і форми наплавлюваної поверхні. Техніка електрошлакового наплавлення принципово не відрізняється від техніки зварювання.

Вібродугове наплавлення є реновідністю дугового наплавлення металевим електродом. Його використовують для відновлення швидкозношуваних деталей машин і механізмів. Вібрація електроди, зумовлюючи багаторазові короткі замикання зварювального кола, покращує стабільність процесу за рахунок частих збуджень дугових розрядів у моменти розривання кола і сприяє перенесенню електродного металу намісній порційми. Це дозволяє проплавлювати

метал на невелику глибину та наплавлювати деталі малого діаметра. Амплітуда вібрації електродного дроту становить 0,75–1,0 діаметра електроди.

Наплавлення струмами високої частоти проходить за рахунок електричного поля, що створюється в індукторі, до якого підводиться струм від високочастотного генератора. Для наплавлення використовують матеріал у вигляді пасту або суміші порошкоподібного матеріалу з флюсом (бураю). До переваг високочастотного наплавлення належать швидке нагрівання та невелика глибина проплавлення основного металу, висока продуктивність і великі можливості автоматизації.

Для відновлення розмірів деталей використовують електричну металізацію – тонке покриття поверхнь деталей різними хімічними елементами.

19.6. ГАЗОТЕРМІЧНЕ НАПИЛЕННЯ

Газотермічним напиленням називають процес нанесення покриття, оснований на нагріванні матеріалу до рідкого стану і розшилювання його на поверхні виробу газоним струменем. Використовують газополум'яне і газоелектричне напилення, де в якості напилювального матеріалу застосовують дроти, стрижки й порошки. Недоліком газополум'яного напилення є низька якість покриття, зумовлена низькою температурою полум'я, низькою швидкістю перенесення частинок і великим вмістом оксидів у покритті. Високу якість й простоту керування забезпечує газоелектричне напилення.

Суть електрометалізаційного напилення полягає в плавленні дроту електричною дугою і розшилюванні розплавленого металу стисненим повітрям (рис. 19.2 а). Розшилювання стисненим повітрям призводить до значного виторяння компонентів та їх окиснення.

Високочастотні металізатори відносяться до апаратів дрогового типу. Нагрівання дроту здійснюють струмом високої частоти. В якості джерела живлення використовують лампові генератори струмів високої частоти (70–500 кГц). Схема розшилювальної головки зображена на рис. 19.2 б. Продуктивність високочастотних

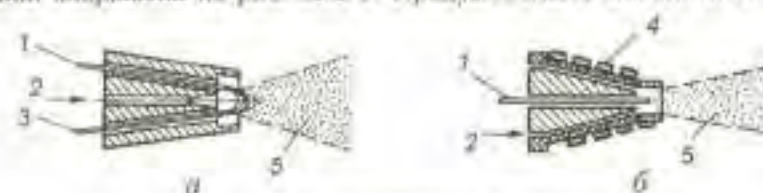


Рис. 19.2 Схема електрометалізаційного напилення:

а – електричного; б – високочастотного; 1, 3 – напилювальний дріт; 2 – стиснене повітря; 4 – індуктор; 5 – металізаційний флюс

металкаторів в 1,5–2,5 рази вище продуктивності електрометалургійних. Недоліком цього способу є низький к.к.д. установок і відносно низька міцність зчеплення шпальовального металу з основним.

Високопродуктивним способом нанесення покриття є плазмове напалення, яке використовують для нанесення різних металів і сплавів із метою захисту деталей від спрацювання, корозії, ерозії, теплових ударів тощо. Напалені покриття мають міцне зчеплення з основним металом, високу щільність і гладку поверхню. В якості плазмоутворюючих газів використовують аргон, азот, гелій і суміші аргону з воднем та іншими газами. Напалювальні матеріали виготовляють у вигляді порошку або дроту. Використовують гранульовані порошки розміром 5–100 мкм, які для підвищення стійкості просушують при температурі 70–200°C протягом 2 год. Критерієм задовільного зчеплення є якість підготовки поверхні основності металу травленням, піскоструминною, термічною й механічною обробкою. Напалення виконують за один прохід плазмотрона із швидкістю, яка забезпечує одержання товщини 15–100 мкм. Схема плазмового напалення зображена на рис. 19.3.



Рис. 19.3. Схема плазмового напалення:

а – подача неіскропитного матеріалу в плазмовий струмінь через розлив; б – подача напалювального матеріалу за допомогою дільничої плазмотрони; в – плазмова металізація дротом залежною дугою; 1 – подача газу; 2 – подача електрики; 3 – електричний дріт; 4 – подача порошку

Контрольні запитання та завдання

1. Що означає гарне зчеплення?
2. Для чого використовують напалення?
3. Охарактеризуйте особливості напалення.
4. Якими матеріалами виконують напалення?
5. Охарактеризуйте властивості електродів для напалення.
6. Які особливості техніки напалення?
7. Що означає пристуканість напалення?
8. Як є види напалення?
9. Яким чином виконують напалення струмами високої частоти?
10. У чому суть вібродугового напалення?

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

20.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У всіх галузях народного господарства широко застосовуються конструкції різного роду й призначення. Вони відрізняються розмірами, конфігурацією, призначенням дії, способом виготовлення. Конструкції виготовляються за допомогою різних технологічних процесів. Тому вони можуть бути литими, кованими, точеними, клесеними, штампованими, зварними, а також комбінованими – клесезварними, штампозварними тощо.

До зварних відносяться конструкції, нероз'єднані з'єднання яких виконуються за допомогою зварювання. Отже, зварними конструкціями є стілка радіоламп, кабіна автомобіля, корпус балістичної ракети, кожух доменної печі, літак АН «Руслан».

Конструкції можна класифікувати за цільовим призначенням (будівельні, суднові, авіаційні), за матеріалами (сталеві, алюмінієві, пластмасові), за характером навантажень та умовами експлуатації.

Зварні конструкції класифікуються за наступними категоріями (групами):

балки – конструктивні елементи, що працюють на поперечний згин, з'єднані між собою жорстко та утворюють рами конструкції;

козари – елементи конструкції, які працюють на стику або стиск з поздовжнім згином;

решітчасті конструкції – система стержнів, яка працює на розтяг або стиск, і жорстко з'єднаних між собою у вузлах. До них відносяться ферми, зв'язуючі, овори транспортів, щогли лінійних електропередач, сітки арматури залізобетону та ін.

оболонкові конструкції – різноманітні ємкості, резервуари, апарати й трубопроводи, до яких ставляться вимоги міцності та щільності;

корпусні транспортні конструкції – корпуси суден, вагонів, кузови автомобілів;

деталі машин і приладів, які працюють переважно при перемінних багаточислових навантаженнях (станки, вали, колеса та ін.).

Зварні конструкції поділяються на три категорії: будівельні металоконструкції, машинобудівельні конструкції й трубопроводи (рис 20.1).



Рис. 20.1. Класифікація зварних конструкцій

До будівельних металоконструкцій відносяться зварні конструкції, порядок розрахунку, проектування, виготовлення і монтаж яких регламентується відповідними розділами БНПа та іншими нормативними документами.

До машинобудівних зварних конструкцій відносяться конструкції, розрахунок і конструювання яких проводяться на машинобудівних заводах, а виготовлення або довиготвлення і монтаж здійснюється відповідними організаціями.

Трубопроводи різних призначень віднесені в третю категорію конструкцій.

В свою чергу, кожна з категорій поділяється на групи конструкцій. На рис. 20.2 наведено спрощену класифікацію зварних будівельних металоконструкцій. Вони поділені на шість груп: каркаси промислових будівель, які є основним видом конструкцій, що виготовляються на заводах; суцільностійові листові конструкції, пов'язані з опорами; обслуговуючі конструкції: сітки та каркаси арматури для залізобетону та ін. Як видно із схеми, кожна з наведених груп складається із декількох підгруп.

Так, каркаси промислових будівель складаються з колон, ферм, зв'язуючих, балок та огорожуючих конструкцій. Останні не несуть основних навантажень, а тільки «огорожують» (захисають) внутрішні приміщення будівель. До них відносяться панелі, вітражі, віконні перемички, ворота тощо.

До суцільностійових листових конструкцій відносяться: різні емкисні зварні конструкції, основними з яких є резервуари всіх типів (вертикальні зварні РВЗ, ізоермічні, траншейні й горизонтальні зварні РГЗ, а також галюльдерні постійного та змінного об'єму); діафрагми й мембрани (в основному перекриття великих будівель і споруд); конструкції вентиляційних систем, включаючи зварні повітроводи, а також більша частина конструкцій доменного комплексу.

До окремої підгрупи належать решітчасті висотні споруди й опори. До них відносяться телевізійні, радіо- й радіорелейні мачи, щогли ліній електропередач (ЛЕП), а також опори конструкцій.

Призначення обслуговуючих конструкцій виходить із їх назви: вони забезпечують можливість експлуатаційному персоналу виконувати свої функції при дотриманні правил безпеки.

До цієї групи конструкцій відносять сходи, площадки, огорожі.

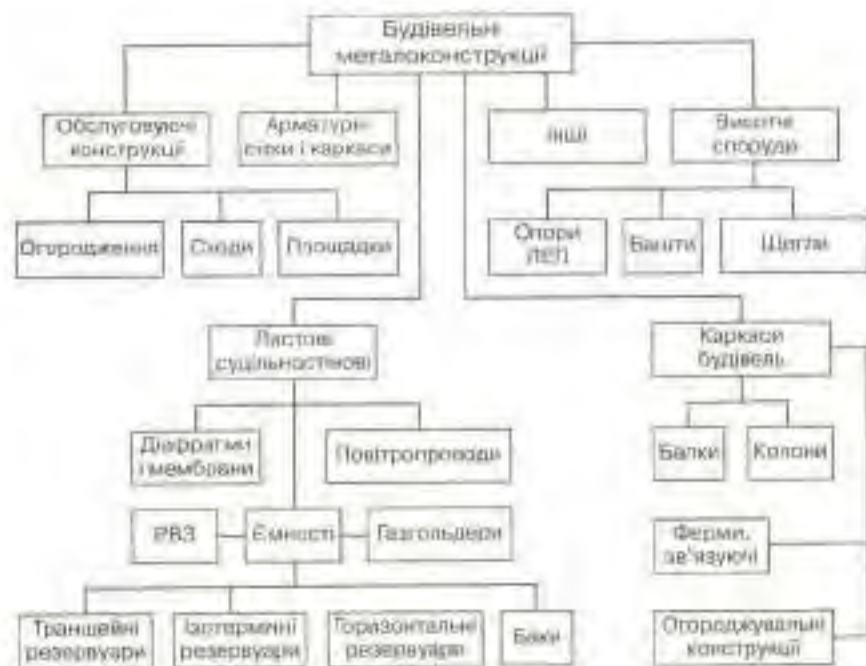


Рис. 20.2. Класифікація будівельних металевих конструкцій

До самостійної групи відділено сітки й каркаси арматури залізобетону, а також інші конструкції (кронштейни, підвіски, опори трубопроводів та інші дрібні конструкції).

Машинобудівельні зварні конструкції умовно поділено на п'ять груп (рис. 20.3). До першої з них відносяться емкисні конструкції, серед яких можна виділити декілька підгруп: посудини й апарати (котли, емкисні та обладнання спеціального призначення). Посудини (в основному, пустотілі) й апарати (з внутрішніми пристроями) працюють під тиском. Вони, як і котли, підвідомі Держпроматомнагляду. Емкисні мають різну місткість (від десятків до сотень кубометрів) і призначення (декомпресори, сходи сировини та сотової продукції, відстійники тощо). До обладнання спеціального призначення віднесено верти (в т. ч. обертові), конвертори, міксери та інші аналогічне обладнання.

До групи різних конструкцій відносяться рами від обладнання (насоси, компресори, привіди й витяжні станції тощо), а також так звані етажеркові (опорні) конструкції, на яких устатковуються обладнання і трубопроводи.

До нестандартного обладнання умовно віднесено конструкції різноманітних бункерів, затворів, кожухів, обладнання та інших конструкцій, поставка яких входить в обов'язки замовника.



Рис. 20.3. Класифікація машинобудівельних зварних конструкцій

Трубопроводи — це пристрої для транспортування рідких, газо-подібних і сипучих речовин при різних тисках і температурах. За невеликим винятком, трубопроводи є зварними конструкціями й класифікуються відповідно до рис. 20.4.



Рис. 20.4. Класифікація трубопроводів

Магістральні трубопроводи транспортують рідини та гази від місця їх видобутку до місця переробки або споживання. Відмінною особливістю магістральних трубопроводів є їх велика протяжність, яка вимірюється сотнями й тисячами кілометрів, і постійний діаметр, який досягає 1420 мм і більше.

Промислові трубопроводи призначені для забору нафти та газу від свердловин (включаючи герметизацію нафтових свердловин) і доставки нафти до нафтозбірних пунктів, а газів до компресорних станцій. Вони мають діаметр 100–377 мм і невелику протяжність.

До технологічних трубопроводів відносяться трубопроводи промислових підприємств, якими транспортують сировину, напівфабрикати та готову продукцію, а також матеріали, які забезпечують ведення технологічного процесу й відходи виробництва.

Енергетичні трубопроводи або трубопроводи енергетичних блоків, забезпечують роботи теплових та атомних електростанцій і групових котельних установок.

Санітарно-технічні трубопроводи призначені для створення комфорту в житлових будинках, об'єктах побутово-культурного призначення й промислових підприємств (водопроводи, газопроводи, трубопроводи гарячої води та каналізації). Для цих трубопроводів характерні малі діаметри труб і велика кількість різьбових з'єднань.

Розширюється застосування пластмас в якості конструкційних матеріалів, які замінюють метали там, де це можливо й доцільно. Пластмаси використовуються в будівельних конструкціях при виготовленні повітропроводів і вентиляційних камер, які працюють в агресивних середовищах, а також застосовуються в якості наповнювачів при виготовленні задіяних багатопароних панелей типу «Сендвіч». У машинобудівній промисловості пластмаси в основному застосовуються при виготовленні емкостей для зберігання агресивних рідин, а також нестандартного обладнання для тих же умов експлуатації.

У якості конструктивного матеріалу пластмаси перспективні для санітарно-технічних і технологічних трубопроводів для тиску 1–1,6 Мпа і температури середовища до 60–80°C.

20.2. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Понад 98% сталевих конструкцій виконуються зварюванням. При проектуванні для забезпечення високої надійності зварних конструкцій необхідно враховувати ряд вимог. На несучу здатність зварної конструкції значно впливають використані зварювальні матеріали. При чому вони впливають не тільки на експлуатаційні властивості конструкції, але й визначають її вартісне виготовлення. Тому при виборі матеріалу враховують характер навантаження (статичні, динамічні, повторно-перемінні), температурні умови, сейсмічність, агресивність середовища тощо.

Для конструкцій, які працюють в умовах динамічних навантажень або при низьких температурах, велике значення має форма зварного з'єднання. Наявність концентратора напружень у зварних з'єднаннях у процесі експлуатації конструкції може призвести до зниження або втрати пластичних властивостей та руйнування конструкції. Температурна дія на зварні крошки викликає утворення структурних неоднорідностей, тобто зон із різними механічними властивостями. У поєднанні з геометричною недосконалістю ці структурні неоднорідності також можуть призвести до зниження несучої здатності конструкції.

Пронес зварювання внаслідок нерівномірності охолодження викликає утворення зварювальних напружень і деформацій. Тому для кожної конструкції необхідно вибирати такі процеси зварювання й технологічні прийоми, які забезпечували б утворення мінімальних напружень і деформацій.

Промислові підприємства та єдині швидкі будівлі й споруди проектується в дві стадії – технічний проект і робочі креслення.

У процесі експертизи проектів вирішуються наступні завдання: зниження металомісткості конструкцій за рахунок зменшення їх маси, застосування ефективніших марок сталі й профілів прокату біля нове застосування несучої здатності металу зварювання, використання прокату стандартних розмірів, а також зниження трудомісткості, вартості й термінів виготовлення конструкцій.

Для цього використовують:

- максимальну типізацію конструктивних елементів і стандартизацію деталей за нормами заводів-виробників з метою організації групового запуску деталей у виробництво (з різних замовлень групуються деталі за ознаками технологічної подібності);

- перенесення найтрудомісткіших операцій із збирання і зварювання в умови заводу-виробника, постачання конструкцій крупними блоками з урахуванням розмірів і вантажопідйомності транспортних засобів.

- можливість збирання та зварювання найтрудомісткіших операцій з проектною відмітною ліній, на площадку для укрупненого збирання;

- застосування передової технології виготовлення й монтажу, оброблювальних верстатів із числовим програмним управлінням, автоматичних і напівавтоматичних зварювальних і газорізальних установок, збирання та зварювання конструкцій в кондукторах, застосування на монтажі болтових з'єднань замість зварюних, каверного монтажу та ін.

Крім того, в проектах упроваджують рішення, які б забезпечували одержання високоякісних зварних і болтових з'єднань, тобто розташування зварних швів і болтів у місцях, зручних для проведення робіт і контролю якості, а також вибір раціональної конструктивної форми зварних з'єднань, яка б запобігала утворенню великих зварювальних напружень і деформацій, виключаючи концентратори напружень і знижуючи схильність до крихких руйнувань.

Проектні рішення повинні забезпечувати надійну експлуатацію конструкцій протягом розрахункового терміну служби будівлі або споруди при максимальних трудових і грошових затратах на утримання конструкцій і поточний ремонт.

20.3. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ І СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ

Усі сталеві конструкції відповідно до нормативів віднесені до чотирьох груп залежно від ступеня відповідальності та умов експлуатації:

1. Конструкції, що працюють в особливо несприятливих умовах або піддаються безпосередній дії динамічних навантажень (відкриті балки, балки робочих площадок цехів, елементи конструкцій і розвантажувальних естакад, які безпосередньо приймають навантаження від рухомих поїздів; фасони ферм, прогоони будівель та опори транспортних галерей; спеціальні опори великих переходів ліній електропередач висотою понад 60 м; елементи відтажок шпозол);

2. Конструкції або їх елементи, що працюють при статистичному навантаженні на розтяг, згин, згин із розтягом (ферми, ригелі рам, балки некріплів і покриття, опори ліній електропередач, за виключенням опор великих переходів, опори збірних шин і викичків відкритих розподільчих пристроїв підстанцій, елементи комбінованих опор антенних споруд і трубопроводів ГЕС, насосних станцій тощо);

3. Конструкції або їх елементи, що працюють при статичному навантаженні на стиск і стиск із згином (колонни, стійки, опорні плити); конструкції, які підтримують технологічне обладнання; опори відкритих розподільчих пристроїв, за виключенням опор групи 2; елементи стовпів і бант антенних споруд, прогоони покриття;

4. Допоміжні конструкції будівель і споруд (зв'язуючі, елементи факверків, сходи, площадки, огорожі, дзвонорядні елементи антенних споруд).

У якості особливого критерію, який визначає вибір матеріалів конструкцій, є вартісні показники. При визначенні вартості враховують вартість металу, виготовлення та монтажу. Оптимальна величина цих трьох показників може бути забезпечена в умовах типізації конструкцій, тобто комплексу вимог, яким повинна підлягати конструктивна форма однорідних конструкцій: бути найекономічнішою за втратами металу, найменш трудомісткою при виготовленні та зручною при монтажі.

В основі типізації лежить принцип модульності, тобто співрозмірність розмірів елементів, кратності їх визначеної величини, яка називається модулем. На сьогодні для промислових і виробничих будівель загального призначення розроблені креслення типових колон, ферм, відкритих балок, ліхтарів і допоміжних конструкцій. Застосування типових конструкцій різко прискорює проектування і виготовлення конструкцій, знижує вартість і покращує якість.

20.4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Міцність зварних з'єднань – це їх здатність чинити опір руйнуванню або їх незворотна зміна форми (пластична деформація) при дії зовнішніх навантажень.

Міцність зварних з'єднань залежить від багатьох факторів і в першу чергу від властивостей зварювальних матеріалів, а також від характеру напруженого стану, включаючи залишкові напруження, а також від умов, при яких експлуатують дане зварне з'єднання.

Основний кількісний показник міцності зварних з'єднань – це їх механічні властивості, які можуть змінюватися залежно від умов навантаження. Статичну міцність розраховують в умовах статичного навантаження.

Для зварного з'єднання вона може змінюватися в значних межах залежно від наявності концентратора. Міцність зварювальних з'єднань визначають при перемінних навантаженнях. Крім того, розрізняють технологічну й конструктивну міцність для зварювальних з'єднань і конструкцій.

Кількісно міцність оцінюють напруженістю, при якій настає руйнування або текучість металу чи з'єднання. Визначення механічних властивостей проводиться на стандартних зразках різної конфігурації залежно від схеми навантаження (в зварних з'єднаннях переважно розтяг, згин й удар).

При проведенні термічної обробки зварних з'єднань для визначення механічних властивостей вимірюють твердість основного металу, а також металу шва і біляшовної зони.

При проектуванні зварних з'єднань головною умовою є умова рівномірності. Це означає, що зварне з'єднання повинне бути рівномірним основному металу при заданих умовах його роботи. При цьому міцність і пластичність металу шва повинна бути не нижче відповідних показників основного металу.

Складніше буває забезпечити відповідні показники міцності в біляшовній зоні (зоні термічного впливу), особливо при зварюванні легированих сталей. Тому нормативні документи, що регламентують технологічні процеси зварювання, передбачають продовження спеціальних операцій (наприклад, термічної обробки) для одержання необхідних механічних властивостей зварного з'єднання.

Межа витривалості зварних з'єднань залежить, крім матеріалу, роду аустілі і характеристики циклу навантаження, ще й від форми конструкції та технологічного процесу зварювання. Межа витривалості зварних з'єднань, виконаних автоматичним зварюванням під флюсом, вища, ніж зварених ручним дуговым

20.5. ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ЗВАРЮВАНІСТЬ

Під зварюваністю розуміють комплексну технологічну характеристику металів і сплавів, яка визначає вплив процесу зварювання на властивості зварювальних матеріалів та їх технологічну придатність для виконання зварних з'єднань із заданими властивостями. Зварюваність залежить від багатьох факторів і ступінь її в різних матеріалах неоднакова.

Ступінь зварюваності показує, наскільки змінюються властивості матеріалу при зварюванні і чи можливо використати зварне з'єднання при даних умовах. Для оцінки зварюваності існує декілька показників зварюваності, які визначаються методом порівняння відповідних показників зварюваного матеріалу й зварного з'єднання та вимірюються у відсотках. Наприклад, це можуть бути показники зварюваності за тимчасовим опором розриву, за ударною в'язкістю тощо. Звичайно зварюваність оцінюють за сукупністю характеристик, які визначають відповідно до конкретних вимог щодо зварної конструкції. До вказаних характеристик відносяться випробування: на опір утворенню холодних і гарячих тріщин (на технологічну міцність), статичну міцність, ударний згин, втомлювальну міцність і міцність при низьких температурах, на тривалу міцність при високих температурах, а також інші випробування.

Технологічна міцність зварних з'єднань – це їх здатність без руйнувань витримувати різні дії, які можуть виникнути в процесі зварювання, встигання або вилежування зварних конструкцій під впливом зварювальних деформацій і напружень.

Основним критерієм технологічної міцності зварних з'єднань, який визначає їх експлуатаційну надійність, є опір утворенню гарячих і холодних тріщин.

Технологічна міцність зварного з'єднання попередньо оцінюється за хімічним складом за методом визначення еквівалента вуглецю (C_e) за формулою:

$$C_e = C + Mn/26 + Ni/15 + (Cr + Mo + V) 10$$

При товщині зварних елементів до 10 мм сталі, в яких $C_e = 0,2-0,35\%$ зварюються добре, при $C_e = 0,45-0,5\%$ допускається зварювання без підігріву.

При більш високому вмісті C_e необхідна різна ступінь підігріву або зварювання взагалі неможливе.

Залежно від хімічного складу сталі може мати задовільну опірність гарячим і холодним тріщинам, при вмісті вуглецю і легуючих елементів на нижніх границях і практично не зварюватися при їх вмісті на верхніх границях.

В основному для металоконструкцій застосовують гарячекатану фасонну (кутники, двотаври, швелери) та листовий прокат, ступі профілі з низьколегированої сталі Ст3 не, Ст3 сп. 09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД, 16Г2МД. У збірних залізобетонних конструкціях використовують арматурну гарячекатану сталь періодичного профілю Ст3 не, Ст5 не, 35ГС, 25Г2С. Ці сталі добре зварюються, але при зварюванні деяких застосовують спеціальні технологічні прийоми.

Будівельні конструкції зварюють як при їх виготовленні, так і при спорудженні та монтажі з цих будівельних об'єктів на відкритих площадках. При цьому, якщо конструкції виготовлено на заводах, зварювання виконують в основному механізованими способами (у вуглекислому газі під флюсом) на будівельних і будівельно-монтажних площадках; у побуті в основному застосовують ручне дугове зварювання покритими електродами. Це пояснюється простотою, універсальністю, надійністю даного процесу, враховуючи ще й економічність – ручне зварювання дешевше.

Ураховують також конструктивні особливості більшості будівельних об'єктів (розкляканість зварних швів, у т. ч. невеликої протяжності в просторі, часте їх розташування у важкодоступних для зварювання місцях тощо). Крім того, на будівельних і будівельно-монтажних площадках зварювання проводять при будь-яких, навіть несприятливих, природних умовах (мороз, атмосферні опади, вітер), а також на висоті, у неармуєних і тісних робочих місцях, та в умовах, необхідних для виконання швів у нижньому, вертикальному, горизонтальному і стельовому положеннях.

Відзначені особливості зварювання в будівництві необхідно враховувати при підборі та експлуатації обладнання; виборі, зберіганні й підготовці до зварювання покритих електродів; розробці технології зварювання, а також при певній зварюємі. При ручному дуговому зварюванні будівельних конструкцій застосовують електроди з рутіловим, ітментитовим й основним видами покриття типу Э42, Э42А, Э46, Э50А за ГОСТом 9467-75, призначених для зварювання у всіх просторах положеннях. Стрижки високоточесних електродів в основному виготовляють із зварювального дроту Св-08 і Св-08А.

Підготовка будівельних конструкцій включає такі операції:

– огляд конструкцій для виявлення можливих дефектів (розслоєння, тріщини у металі, неясні заводські шви, відхилення у розмірах). Проводять втручання дефектів;

– перевірка правильності підготовки кромок, очищення металу перед зварюванням від іриси, волоті, жиру;

– при збиранні дотримання розмірів зазорів у з'єднаннях, недопущення зміщення кромок та величину, більшу встановленої стандартом: 0,5 мм для деталей товщиною до 4 мм; 1 мм для деталей товщиною 4–10 мм; 0,15 мм, але не більше 3, для деталей товщиною 10–100 мм; 0,01 + 2 мм, але не більше 4, для деталей товщиною більше 100 мм;

– перевірка якості збирання, відповідність розмірів з'єднанням або конструкції проекту і тільки після цього виконання зварювання.

Основні марки електродів, які використовуються для зварювання будівельних конструкцій: МР-3, МР-4, 03С-А, Ротекс- 03С12, АНО-4, МР-3Р, 03С-4Л, МРЗУ, АНО-6, БРХ-2, БРХ1/42, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, УОНИ 13/55С, УОНИ 13/55У.

Основні параметри режиму зварювання – діаметр електрода, від, поляривість і сила зварювального струму, напруга (довжина) дуги, швидкість зварювання, температура підігріву металу (останні два параметри характерні для зварювання сталей, які вимагають спеціальних технологічних прийомів). Значення параметрів установлюють залежно від марки, товщини й температури основного металу, типу зварного з'єднання та способу виконання швів у просторі, геометричних розмірів швів і вимог щодо зварних з'єднань.

Для зварювання у нижньому положенні діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварних деталей (табл. 20.1).

Таблиця 20.1

Вибір діаметра електрода від товщини металу

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм
1-2	1,6-2,0
2,1-3	2,5-3,0
3,1-5	3,0-4,0
5,1-12	4,0-5,0
≥ 12,1	5,0

Корінтові шви виконують електродами діаметром не більше 3,0–4,0 мм для забезпечення його проплавлення. Струм зварювання вибирають відповідно до вказівок на етикетці шві має бути на кожній пачці з електродами. Максимальну величину I_{max} застосовують для зварювання у нижньому положенні, в інших положеннях силу струму знижують на 10–25%. Техніка й технологія зварювання відповідає вимогам, які ставляться до аналогічних з'єднань.

20.6. КОНСТРУКТИВНА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ЗВАРЮВАЛЬНІ НАПРУГИ ТА ДЕФОРМАЦІЇ

Конструктивною міцністю називається здатність конструкції чинити опір тим граничним етапам, від яких залежать її властивості й проміжності. Таким чином, конструктивна міцність – це складна взаємодія властивостей матеріалів, які входять до її складу, і властивостей самої конструкції (сталічна міцність, міцність при втомлюванні металу, холодостійкість, опір повзучості, технологічна

міцність, корозійна стійкість та ін.) Конструктивна міцність також залежить від умов роботи конструкції, які визначаються зовнішніми факторами (характер і величина навантажень, характер і величина напружень, температура, час експлуатації та ін.).

Здатність конструкції чинити опір певні граничних станів називається її несучою здатністю.

На практиці в розрахунках приймають поняття – розрахункова міцність. Це здатність конструкції чинити опір появі тих граничних станів, від яких залежить її пластичності. Її визначають розрахунковим шляхом на основі експериментальних характеристик матеріалу й теоретичного апарату. Розрахункова міцність не співпадає з конструктивною за деякими причинами, основними із яких є:

1. Теперішній етап науки про міцність металів не дозволяє враховувати одночасно дію багатьох факторів, тому розрахунки проводять за головним фактором (граничний стан появи текучості, втрата стійкості, хрупкості тощо);

2. Виключення з розрахунку недостатньо значених факторів (наприклад, вплив дефектів), які в різних умовах роботи конструкції можуть мати домінуюче значення;

3. Неправильний вибір граничних станів і критеріїв для оцінки міцності конструкції та проведення розрахунків (наприклад, визначення критеріїв механічної міцності без урахування концентрації напружень, використання тільки силових критеріїв без урахування деформаційна та ін.);

4. Завчасно складно врахувати вірогідність появи дефектів, їх розмірну й характер розподілу; також часом фактично неможливо виникли всі дефекти, застосовуючи існуючі методи та способи контролю якості зварних з'єднань.

Одним із важливих завдань, яке має не тільки технічне, але й економічне значення, є наблизження розрахункової та конструктивної міцності, визначення ступеня надійності зварних конструкцій. Вирішення цих завдань дозволило зменшити масу і габарити (розміри) конструкцій, зекономити матеріали, зменшити виробництво.

Велике значення має розробка оптимальної технології виготовлення конструкцій з урахуванням факторів, які негативно впливають на конструкцію, і це важко або неможливо визначити розрахунком. Це термічна обробка, яка знімає залишкові напруження; застосування пристроїв, які виключають або зніжують залишкові деформації; 100%-вий контроль швів.

До факторів, які впливають на конструктивну міцність і несучу здатність зварних конструкцій, відносяться власні напруження при зварюванні й деформації, в т. ч. залишкові, через які конструкцію без обробки використовувати неможливо. В окремих випадках ці деформації можуть спричинити аварії.

Власним називають напруження, що існують у конструкції або елементі при відсутності прикладених до них поверхневих або об'ємних сил. Власні напруження виникають унаслідок деформації металу різних видів: температурних, які пов'язані з перепадами температури або внаслідок структурних перетворень; візуальних, які характеризуються зміною розмірів тіла – лінійних і куткових, внутрішніх (пружних і пластичних).

Причинами виникнення власних напружень можуть бути: механічне або пластичне деформування при збиранні, правленні та монтажі; пружні й пластичні деформації внаслідок нерівномірного нагріву при зварюванні або термообробці; структурні і фазові перетворення, що супроводжуються нерівномірною зміною об'єму.

На міцність зварних конструкцій значно впливають раціональна послідовність збирально-зварювальних операцій, конструктивні пристосування і оснащення, а також наявність і характер дефектів у зварних швах.

20.7. БАЛКОВІ Й РЕШТЧАСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Балка – це конструктивний елемент суцільного перерізу, призначений для роботи на поперечний згин. Балки використовують у різних перекриттях, робочих площадках, естакадах, мостах, підкріпних балках та інших конструкціях. Суцільностінові балки найчастіше застосовують для невеликих прогонів при великих навантаженнях. У випадку великих прогонів і малих навантажень раціональніше використовувати наскрізні балки або ферми, оскільки в даному випадку економія металу більш суттєва.

Типи поперечних перерізів і розміри зварних балок надзвичайно різноманітні. Якщо навантаження прикладене до вертикальної площини, частіше використовують балки двотаврового перерізу. При прикладанні навантаження до вертикальної та горизонтальної площин, а також при дії обертального моменту доцільніше використовувати балки коробчастого перерізу.

Звичайний зварний двотавр складається з трьох основних листових елементів, стінок та двох полочок. Збирання балки (рис. 20.5) повинно забезпечити симетрію й взаємну перпендикулярність полочок і стінок, притиснення їх одне до одного та закріплення пріхватками.



Рис. 20.5. Допуски на збирання Н-подібного перерізу

При використанні збиральних кондукторів (рис. 20.6) це досягається відштовпнним розташуванням баз і притискачів до осей довжини балки з наступним встановленням прихваток.

На установках із самохідним порталом (рис. 20.7) притискання і прихватчування здійснюються послідовно від перерізу до перерізу.

Для цього портал 1 підводять до місця початку збирання (звичайно це середина балки); включенням вертикальних 2 і горизонтальних 3 пневмопритискачів притискають лист стінки до стелька, а пояси — до стінок балки і в зібраному перерізі ставлять прихватки. Потім притискачі включають, портал переміщують уздовж балки на крок прихватки й операцію повторюють.



Рис. 20.6. Схема кондуктора для збирання двотаврової балки

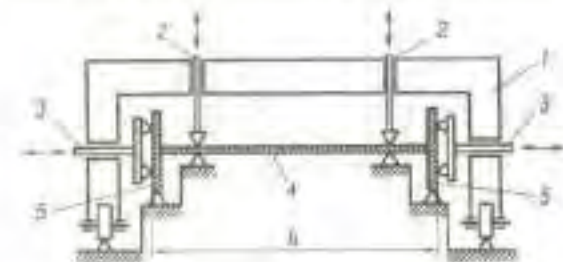


Рис. 20.7. Схема самохідного порталу для збирання двотаврової балки:
1 — портал; 2, 3 — вертикальний і горизонтальний пневмопритискачі; 4 — стінка балки; 5 — ролики балки

Надійність у порталі вертикальних притискачів дозволяє збирати балки значної висоти h , не боячись втрати стінки від дусидь горизонтальних притискачів.

При виготовленні двотаврових балок основною зварювальною операцією є виконання поясних швів, які зварюються автоматами під шаром флюсу. Приблизно й послідовність накладання швів можуть бути різними. Прийоми зварювання похилим електродом (рис. 20.8 а, б) дозволяють одночасно зварювати два шви, але є небезпека виникнення дірдуу стінки або полочки.

Висонання швів «у човник» (рис. 20.8 в) забезпечує кращі умови їх формування і проплавлення. При цьому швіб сайд повертати після заварювання кожного шва. Для повертату використовують інваціонери, кантувачі.

У деяких випадках для збирання балок використовують кантувачі з кільцями (рис. 20.9). Зібрана балка вкладається на нижню частину 1 кільця, відкидана частина 2 замикається за допомогою відкид-



Рис. 20.8. Способи накладання швів:
а, б — похилим електродом; в — «у човник»

них гвинтів 3 і балка закріплюється системою затискачів 4. У випадку, коли довжина балки велика і необхідно попередити її прогин, між опорами можна розташувати опорні роз'ємні кільця.

При зварюванні двотаврових балок значної висоти використовують прості пристосування (рис. 20.10), які є складовою частиною збирального стелька. В робочому положенні балка 2 (рис. 20.10 а) опирається на змінну опору 5 і підтримується підставкою 1, а також за допомогою стійки 3 і гнізда 4.

Для зварювання балок малої жорсткості використовують ланцюгові кантувачі (рис. 20.11). Він складається з декількох фасонних рам 5, на кожній з яких змонтовані дві ланцюгові (хлякста 1 і ведуча 4) і натяжна зірочки 2. Зварну балку 3 вкладають на везелний ланцюг 2. Ведучі зірочки мають загальний приводний вал і забезпечують поворот балки в потрібне положення.

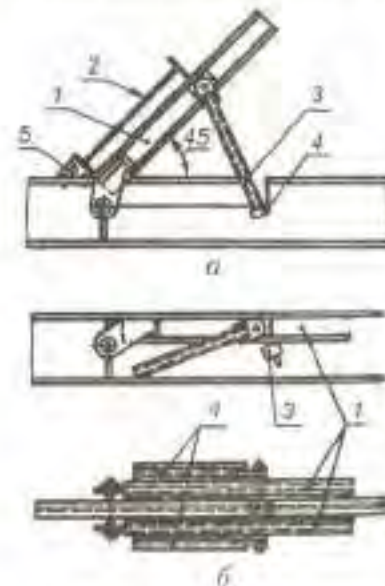


Рис. 20.10. Пристрій для встановлення балок під зварювання:
1 — підставка; 2 — балка; 3 — стійка; 4 — гніздо; 5 — змінна опора

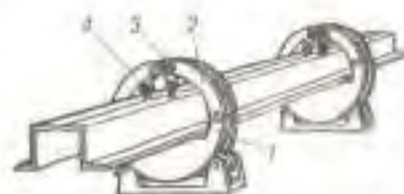


Рис. 20.9. Кантувач з кільцями:
1 — нижня частина кільця; 2 — відкидана частина кільця; 3 — відкидні гвинти; 4 — система затискачів

рам 5, на кожній з яких змонтовані дві ланцюгові (хлякста 1 і ведуча 4) і натяжна зірочки 2. Зварну балку 3 вкладають на везелний ланцюг 2. Ведучі зірочки мають загальний приводний вал і забезпечують поворот балки в потрібне положення.

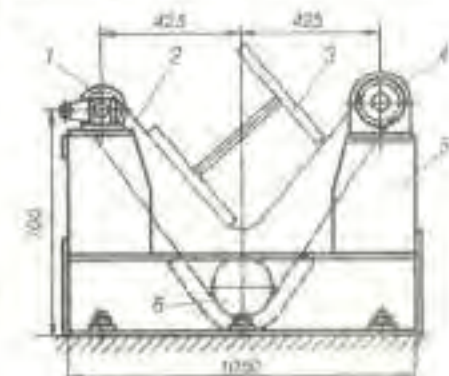


Рис. 20.11. Ланцюговий кантувач:
1, 4 — хлякста і ведуча зірочки; 2 — натяжна зірочка; 3 — балка; 5 — фасонна рама; 6 — загальний вал

20.7.1. Неперервне виробництво зварних балок

При виготовленні таврових і двотаврових балок операції збирання й зварювання можна сузлитати в часі. Схему установки, за допомогою якої можна здійснити таку операцію, показано на рис. 20.12.

Взаємне центрування авто-
томок, переміщення із зварю-
вальних шпательів на автома-
тичне зварювання під флюсом
обох швів здійснюють одночас-
но. Притискання стінок тавра
до пояса забезпечує пневма-
тичний циліндр через патисний
ролик 3. Центрування еле-
ментів тавра проводиться ро-
тирми парами роликів 1, 2.
Кожна пара має пристрій для
регулювання відстані між ро-
ликами залежно від ширини
пояса і товщини стінки. Рух зварного
елемента здійснюється
привідним роликом 4. Кінці балки
підтримуються роликми опор-
них шпательів 5. Другий пояс для
одержання двотаврових балок
приварюється при повторному
пропусканні тавра через установку.

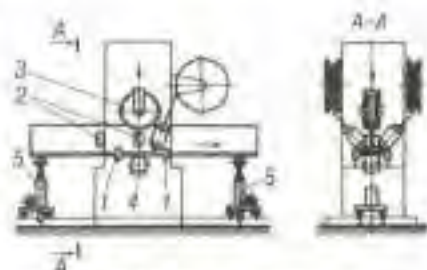


Рис. 20.12. Схема верстата для
зварювання балок таврового профілю:
1, 2 — роликів для центрування елементів
тавра; 3 — патисний ролик; 4 — привідний
ролик; 5 — ролик опорних шпательів

Для швидкопродуктивного виготовлення зварних балок у неперервних автоматичних ліній велике значення має зварювання струмами високої частоти, що забезпечує швидкість зварювання 10–50 м/хв, тобто на порядок вище, ніж при зварюванні під флюсом.

Сьогодні випускаються агрегати для виробництва зварних двотаврів із рулонних прокатів або звичайних смужок і листів із використанням зварювання СВЧ. Рулонні заготовки для стінки і полиць двотавра подають до зварювального агрегату із трьох розмітувачів 7 (рис. 20.13).

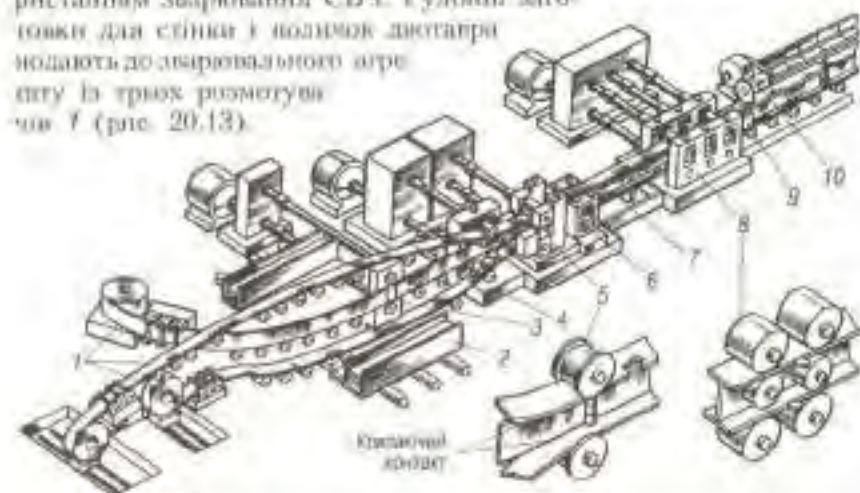


Рис. 20.13. Схема агрегату для виготовлення двотаврових профілів зварюванням СВЧ

1 — проривні стінки балки; 2 — жорсткі роликів для коротких заготовок; 3 — машина для осадки;
4 — пристрій для шийки; 5 — зварювальна установка; 6 — вогняне зачищення; 7 — зона
охладження; 8 — правильник; 9 — дефектоскопія; 10 — вогняне шпатель

Пристрій для шийки 4 забезпечує підйом
полиць у зону зварювання під кутом
4–7° до кромки стінки. Ковзаючі контак-
ти 1, 2 (рис. 20.14) підводять струм до
однієї з полиць і відводять від іншої, що
забезпечує протікання зварювального
струму вадом поверхні стикованих еле-
ментів і через місце їх контактів під прити-
скними роликками. При безпосередньому
приварюванні полиць до стінки (рис.
20.15 а) зварне з'єднання отримує неспри-
ятливу форму. Холодна введєна кромка
стінки із зачищенням з'єднання в гарячому
стані дозволяє забезпечити плавний пере-
хід від стінки до полиць (рис. 20.15 б),
відповідно з цим у агрегаті (див. рисунок
20.13) кромки проходять попередню осадку
в машині 3 і зварюються з полицьками у
зварювальній установці 5. Потім балка
проходить вогняне зачищення 6, зону охоло-
дження 7, правку 8, дефектоскопію 9 і на
відповідному роликовому конвеєрі
ріжеться літаючою пилкою 10. У випадку
значної товщини полиць їх жорсткі заготовки
подають не в рулонах, а в завішуваль-
них 2 поцугах. У процесі зварювання ці
заготовки проходять зварювальний агрегат,
цілісно притиснуті торцями одна до одної.



Рис. 20.14. Схема
підводу струму
в зону зварювання;
1, 2 — ковзаючі контакти

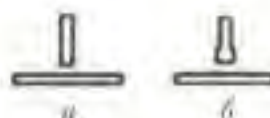


Рис. 20.15. Варіанти
з'єднання стінки балки
з полицькою

У промисловості широко за-
стосовують наскрізні (перфоро-
вані) двотаврові балки. Розпуск
стінки гарячекатаного двотавра за
ламаного ділякою з наступним зварю-
ванням показано на рис. 20.16.

Суміщенням і зварюванням
гребенів, які виступають, забезпе-
чують одержання елемента двотав-
рового перерізу з шестигрунтиними
отворами, які падають балочні
соти.

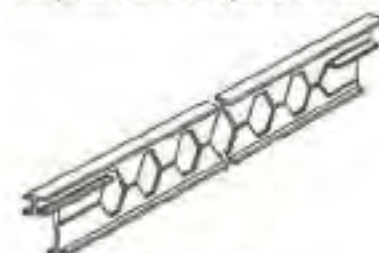


Рис. 20.16. Балка
з перфорованою стінкою із двох
широкополіткових двотаврів

Часом такі балки називають «сотовими». Вони мають ряд переваг:
при однаковій витраті металу момент інерції наскрізного двотавра
в 1,5–2 рази більший ніж у звичайного прокатного.

Але при виготовленні «сотових» балок є певні труднощі (короб-
лення балок після розпуску прокатного двотавра, необхідність
застосування кондукторів для збирання і зварювання).

«Сотові» балки конкурентноздатні не тільки із звичайними бал-
ками, але й з рибчастими конструкціями.

20.7.2. Елементи промислових будівель

Широкополочкові прокатні двотаври і таври рекомендуються застосовувати при виконанні підкранових балок, колон та інших елементів будівельних конструкцій. Між собою підкранові балки з'єднують болтами, пропущеними через торцеві ребра жорсткості, а виступи цих ребер жорсткості опираються на колони (рис. 20.17).



Рис. 20.17. Кріплення підкранової балки до колони

Колони можуть бути постійного та змінного перерізу, суцільні й решітчасті. Їх переріз виконують складовими з використанням широкополочкових прокатних профілів.

За умовами монтажу при виготовленні колон слід виконувати такі вимоги: перпендикулярність осі колон до опорної площини плати башмака і дотримання віддалі між колонами, правильність розташування монтажних отворів. Характерні конструктивні варіанти колон, які передбачають їх виготовлення, наведено на рис. 20.18.

Зварні елементи коробчастого перерізу знайшли застосування в якості стрижнів ферм залізничних мостів (рис. 20.19).

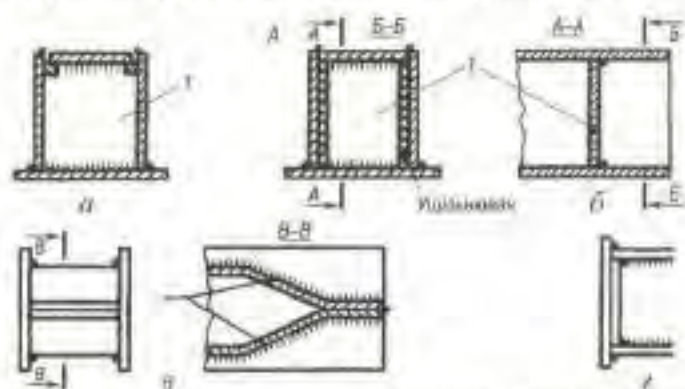


Рис. 20.19. Поперечні перерізи зварних коробчастих елементів

Для цофарбування внутрішньої поверхнини в одному (рис. 20.20 а, б, в) або в двох (рис. 20.20 г) горизонтальних листах роблять перфорацію, тобто овальні отвори, які рівномірно розташовані вздовж осі.

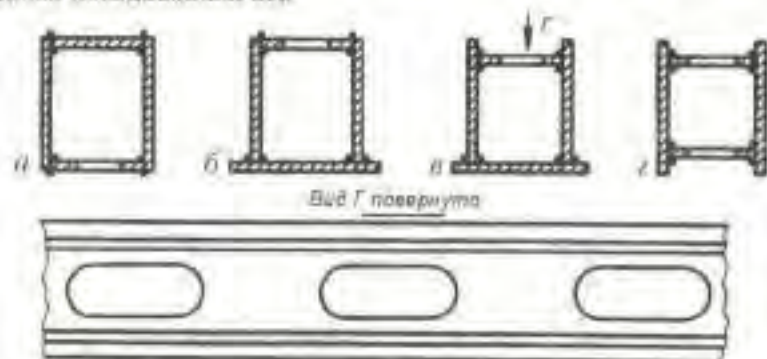


Рис. 20.20. Елементи коробчастого перерізу з перфорованою стінкою

Розміри цих елементів уніфіковані, вони мають ширину 526 мм, висоту 450 мм, 600 і 880 мм, а довжину до 17 м. Елементи не мають діафрагм, що затрудняє їх збирання. Тому в серійному виробництві для їх збирання використовують спеціальні кондуктори, що фіксують деталі за зовнішнім контуром. Крім того, для запобігання гнилоподібному викривленню зварювання здійснюють накладанням одночасно двох симетрично розташованих в одній площині кутових швів нахиленими електродами. Для цього використовують дводугоні трактори ТС-2ДУ. Внутрішні розміри коробки забезпечують припуск такого трактора.

20.8. РЕШІТЧАСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Решітчасті конструкції, що працюють на згин, називаються фермами. Ферми складаються з окремих стрижнів, з'єднаних у вузли, і утворюють геометрично незмінну систему. Якщо ферма в цілому працює на згин, то в її конструктивних елементах виникають тільки похвильні зусилля стиску або розтягу. Це дозволяє більш рationally використовувати матеріал (метал) порівняно з балками. Ферми економічніші за витратами металу, але більш трудомісткі у виготовленні. Тому їх використовують для перекриття великих прогнів при відносно невеликих навантаженнях.

Ферма складається з трьох основних конструктивних елементів: верхнього та нижнього поясів і решітки. Остання складається із розкосів і стійок. Віддаль між вузлами решітки ферми називається панеллю, а віддаль між її опорами – прогоном.

Ферми класифікуються за такими ознаками (рис. 20.21).

— призначенням — ферми мостів, покриття (стропальні, підстропальні), транспортні естакади, гідротехнічні затвори, вантажкопійомні крани;

— профілем окреслення поясів — ферми з паралельними поясами, полігональні, арочні, трикутні. Окреслення поясів визначається призначенням ферми та прийнятою конструктивною схемою всієї споруди;

— системою решітки — ферми з трикутною решіткою і трикутною з додатковими стійками.

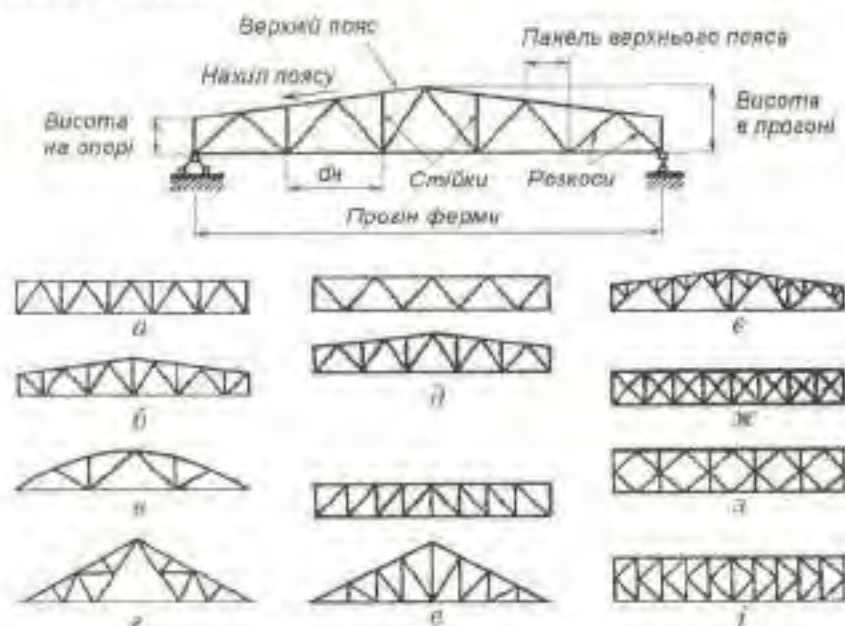


Рис. 20.21. Елементи ферм та їх класифікація за окресленнями поясів і типом решітки.

а — з паралельними поясами; б — полігональні; в — арочні (сегментні); г — трикутні; д — з трикутною решіткою; е — з розкосовою решіткою; в — з шпиретальною решіткою; ж, з, і — із спеціальними решітками

Найчастіше у фермах застосовують просту у виконанні трикутну решітку. Додаткові стійки ставлять тоді, коли в місцях їх розташування прикладаються зосереджені сили або виникає необхідність у зменшенні довжини панелі верхнього стиснутого пояса. В ромбосій решітці всі розкоси мають зусилля одного знаку, а всі стійки — протилежного. Шпиретальну решітку застосовують у випадку частішого прикладання зосереджених сил до верхнього пояса. Хрестоподібну решітку у фермах використовують при двобічному навантаженні. Решітки ромбосій і напіврокриті застосовують рідко, в основному в конструкціях з великими поперечними силами.

За видом статичної схеми ферми бувають нерозривними, розривними та консольними. Залежно від зусиль в елементах ферми їх поділяють на легкі (протягом до 30 м і найбільшим зусиллям у поясах $N_{max} = 5000 \text{ кН}$) й важкі; за конструктивним рішенням — на звичайні, комбіновані та з поперечним напруженням.

Найчастіше у перерізах елементів ферм використовують сталеві кутишки. Комбінуючи перерізи з рівнобічних і нерівнобічних кутишків, з'єднуючи їх малими і великими полицками, можна одержати переріз, рівнобічний в обох площинах, який добре працює на поперечному зусиллі. Кріплення ферми до колон показано на рис. 20.22.



Рис. 20.22. Кріплення ферми до колон

Такі ферми можна використовувати для покриття різних прогонів. Уніфіковані ферми мають прогони 18 м, 24, 30 і 36 м. Типи перерізів наведено на рис. 20.23.



Рис. 20.23. Типи перерізів елементів ферм

Стропальні ферми працюють при статичному навантаженні. В якості стрижків використовують головним чином прокатні і в меншій мірі гнуті замкнуті зварні профілі й труби. В загальному об'ємі виробництва до 90% становлять ферми з парних прокатних

кутника. Стріжки у вузлах з'єднують безпосередньо або за допомогою допоміжних елементів, головним чином дуговим зварюванням. Переважним є застосування контактної зварювання.

При збиранні ферм особливу увагу приділяють правильному центруванню стрижків у вузлах, що запобігає появі моменту гнуття, не врахованих розрахунками. У випадку складених елементів їх спільна робота забезпечується встановленням прокладок.

Конструкції стропильних ферм з поясами із широкополосних таврів порівняно з типовими фермами із кутників виготовляти легше при меншій трудомісткості і вартості. Зниження маси ферми досягається в основному за рахунок зменшення розмірів вузових косинок, а також через відсутність косинок у вузлах кріплених стійок до верхніх поясів і відсутність прокладок до поясів ферм (рис. 20.24 а).

Чагом вдається кріпити решітку безпосередньо до пояса без косинок (рис. 20.24 б).

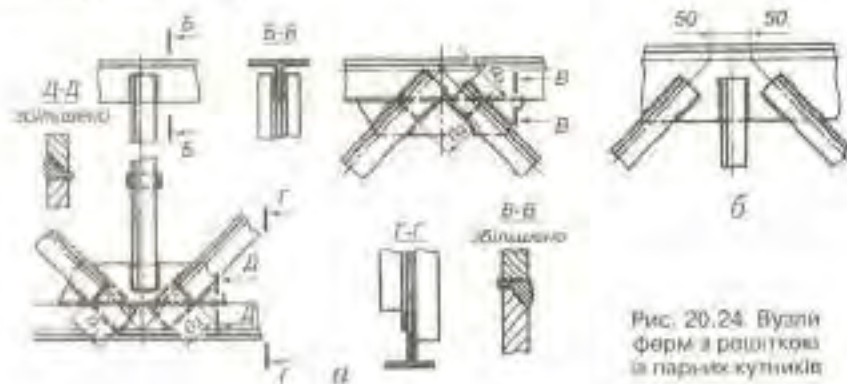


Рис. 20.24. Вузли ферм з решіткою із парних кутників

У цьому вузлі елементи прикріплені до верхнього пояса ексцентрично. Таке розташування допустиме завдяки малим зусиллям у приміжних розкосах і недонапруженню погусого верхнього пояса цієї ланки. Трудомісткість при виготовленні ферми із поясами з таврів зменшується внаслідок зменшення кількості деталей і скорочення довжини зварних швів.

Довідимо, щоб конструкція вузлів стропильних ферм з поясами із таврів і решіткою з варних кутників дозволила повністю розчленити операції стикування збирання, потім зварювання. Кінці кутників, розкосів рекомендується змінювати для цієї мети відносно осі розкосу на відстані a_1, a_2, a_3 (рис. 20.24 а) щодо парних ім кутників. Останні розташовуються з другого боку косинки так, щоб розробка стика шва, який проварює вузову косинку до стінки поясного тавра, було доступною для зварювання після збирання. При цьому підварювання кореня стика шва з протилежного боку виконують тільки на ділянках, вільних від кутників розкосу.

Масу ферми можна зменшити за рахунок трубчастих профілів. Але для труб круглого перерізу безпосереднє з'єднання у вузлі дуже трудомістке (рис. 20.25).

Іноді кінці труб відносно невеликих діаметрів сплюснуть, що спрощує їх з'єднання у вузлах дуговим зварюванням. Значно простіше з'єднувати у вузлах труби прямокутного або квадратного перерізу. У цьому випадку вузли можна формувати без косинок (рис. 20.26).



Рис. 20.25. З'єднання труб, підготовлене до зварювання

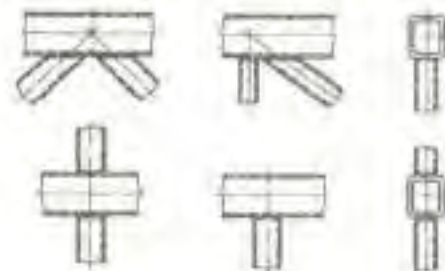


Рис. 20.26. Безкосинкові вузли

Плоскі ферми збирають по копіру або в пристроях (кондукторах; рис. 20.27). Метод копіювання полягає в тому, що за розміткою виготовляють одну напівферму, яка є копіром, і закріплюють її на стелажі. По ній ведуть збиральну робочу напівферму, розкладають усі деталі дзеркально і з'єднують їх між собою дуговим зварюванням прихватками довжиною 30–40 мм. Потім напівферму відмають з копіру і приєднують деталі, яких не вистачає.

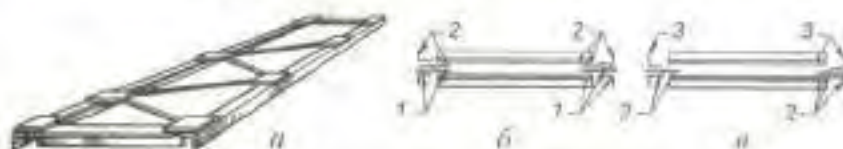


Рис. 20.27. Схема збирання ферми по копіру:

а — перша зібрана по копіру ферма, переріз якої складають одиниці кутників (якщо є кутником); б — при збиранні деталі з кожної половини ферми розкладають і унітують із деталями і копірної ферми; в — приварювання парних кутників 3, якщо не вистачає.

При виготовленні великої кількості ферм їх послідовно збирають і зварюють у пристроях — кондукторах.

На рис. 20.28 показана схема кондуктора, який змонтований на базі плити для збирання.

За розміткою геометричної схеми ферми, відповідно до креслень настройки кондуктора, встановлюють і прихалтують фіксатором 1, 7 опорного вузла, опори 2, 4 кутників, фіксаторів з поясів, фіксатори 5, 6 косинок.

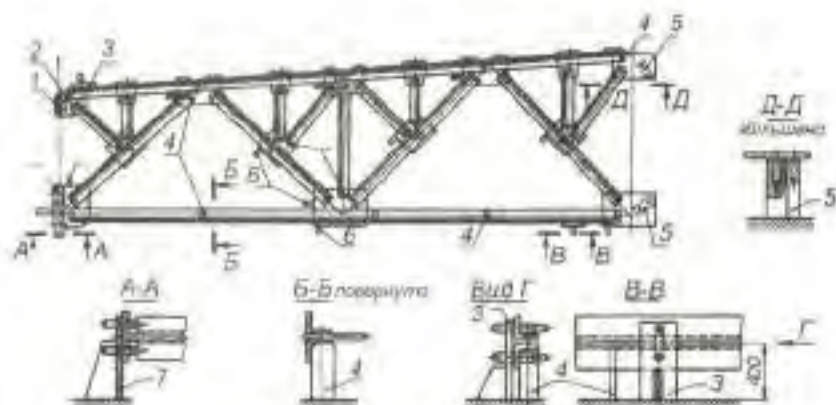


Рис. 20.29. Збирання ферми з кондукторі.

1, Г — фіксатори; 2, 4 — кутники; 3 — фіксатор поперік; 5, 6 — фіксатори косинки

Велика кількість деталей, які входять до складу ферми, ускладнюють збиральні операції, призводять до необхідності виконання багатьох дугових швів, по-різному зорієнтованих у просторі, що вимагає кантування збраного виробу при зварюванні. Вузли ферми зварюють покритими електродами або механізованим дуговим зварюванням у середовищі CO_2 суцільним або порошковим дротом. Зварювання ведуть у нижньому положенні від краю косинки до центра пересічення осей елементів ферми. Контроль якості складається з візуального огляду та вимірювання геометричних розмірів швів.

20.8.1. Щогли і башти

При значних розмірах решітчастих конструкцій їх виготовляють на заводах частинами і відправляють на місце вантажу окремими габаритними секціями.

Просторові решітчасті конструкції баштового крана (радіомаяки, радіобашти, конструкції бурових вишок та ін.) дуже високі, піддаються значним вітровим навантаженням і тому їх виготовляють переважно із трубчастих елементів. Так, стандартна радіощогла — це решітчаста конструкція, яка утримується у вертикальному положенні розворами. Її ствол складають з окремих взаємозамінних секцій довжиною 7,5 м. При монтажі секцій з'єднують на болтах за допомогою фланців, приварених до торців поперік труб кожної секції. Точність розташування фланців і косинок для приєднання розкосів і розпорів, а також співпадання отворів на монтажі забезпечується заводським збиранням секцій в кондукторі.

Монтаж баштових конструкцій здійснюється або у вертикальному положенні методом варювання готових секцій, або способом попереднього збирання на рівні землі в горизонтальному положенні з наступним підйомом і встановленням на основу. В останньому випадку доцільно використувати вертоліт (рис. 20.29). Підйом башти ріштов до 90 м займає 3,5–5 хв.

Рис. 20.29. Схема монтажу башти із застосуванням вертольота:

1 — збірна башта; 2 — вертоліт; 3 — консоль; 4 — підйомна троса; 5 — гальмівна троса; 6 — поворотний шарнір; 7 — опора

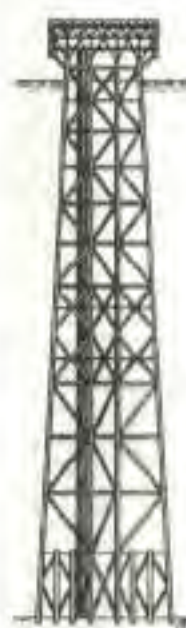
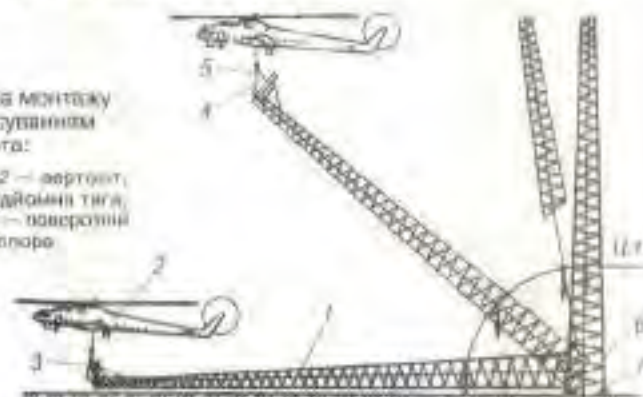


Рис. 20.30. Стационарна основа морської бурової платформи

Збрану башту закріплюють у поворотних шарнірах, установлених на фундаменті. В оголовку башти монтується система, що складається з консолі 3, підйомника 4 і гальмівних тросів 5, які встановлюються балансовою траверсою. Після завантаження вертольота над оголовком башти для монтажників прикріплюють траверсу до дистанційно розташованого змінювального підвіски і висхідить із зони монтажу, а вертоліт 2 починає підйом. У цій нейтральній положення башти, коли її центр ваги знаходиться на одній вертикалі з поворотним шарніром 6, вертоліт зменшує швидкість і пропускає башту вперед. Проходить перерозподіл зусиль між підйомною тросом 4 і гальмівною 5. При цьому вертоліт виконує функцію якоря, що переміщується. Коли башта займе проективне положення, вертоліт зупиняється, ослаблюючи 5, і монтажники закріплюють опори 7.

Бурові установки (рис. 20.30) для видобутку нафти й газу у відкритому морі працюють в особливих умовах тому, що крім вітрового навантаження витримують значні навантаження від ударів хвиль. Це призводить до збільшення розмірів конструкцій, збільшення товщини з'єднувального елементів, різноманітності конструктивних форм і технологічних прийомів виготовлення.

20.8.2. Мостові конструкції

На виробництві найбільше використовують балкові мости розрізні, нерозрізні, консольні із суцільною стійкою (рис. 20.31 а, б, в) та з наскрізними фермами (рис. 20.31 г). Висячі і вантові мости мають балку жорсткості, яка підтримується несучими елементами у вигляді кабелів, вантів або ланцюгів (рис. 20.31 д, е). Арочні мости (рис. 20.31 ж) будують у гірських районах.



Рис. 20.31. Схема стелевих мостів

Комбіновані системи виконують із балок, посилених верхнім поздовжнім поясом (рис. 20.31 ж) або у вигляді консольної балки, посиленої додатковими підйоками (рис. 20.31 з).

Проста прогонна будівля залізничного моста при їдї поверху (рис. 20.32) складається з двох головних балок, сполучених системою зв'язок. Безпосередньо на пояси балок кладуть мостові бруси, а на них — рейки. Головні балки в основному мають двотавровий переріз. Такі прогонні будівлі з розрахунковими прогонами 18,2 м, 23,0 і 33,6 м виготовляють, як правило, суцільнозварними на заводі і доставляють на будівельну площадку в готовому вигляді — одним блоком.



Рис. 20.32. Головні балки і зв'язки прогонного моста

20.9. АРМАТУРА ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Зварювання застосовують при виготовленні зварних арматурних виробів і закладних деталей, при монтажі арматурних виробів, а також при монтажі збірних залізобетонних конструкцій (рис. 20.33).

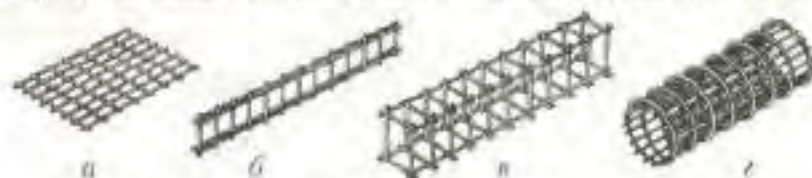


Рис. 20.33. Приклади зварних арматурних виробів:

а — сітка; б — плоский каркас; в — просторовий каркас прямокутного перерізу; г — просторовий каркас круглого перерізу

Сталева арматура поділяється на стрижневу та дрітвяну, а також на гладку і періодичного профілю. На рис. 20.34 показані характерні приклади з'єднань, виконаних зварюванням таких видів: контактним (а, б, в) дугошим (г-ж), їх комбінацією (з) і ванним (і). У будівництві застосовують збірні залізобетонні конструкції, які виготовляються індустріальними методами на заводах за допомогою контактної зварювання стрижнів, які перетікаються.

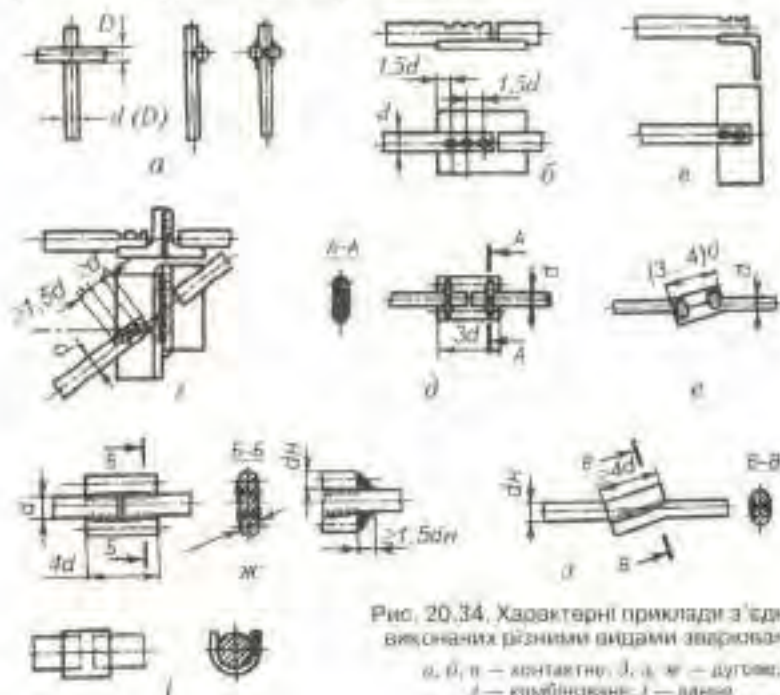


Рис. 20.34. Характерні приклади з'єднань, виконаних різними видами зварювання:

а, б, в — контактне; г, д, ж — дугове; з — комбіноване; і — ванне

Приклади монтажних з'єднань зварних з'єднань залізобетонних елементів показано на рис. 20.35. При виконанні стикових з'єднань стрижнів на монтаж, а також при виготовленні каркасів монолітного залізобетону використовують ванне та електрошлакове зварювання.



Рис. 20.35. Монтажні зварні з'єднання збірних залізобетонних елементів

Спільну роботу всіх елементів просторового залізобетонного каркаса забезпечують також використаним збірно-монолітним конструктивним рішенням (рис. 20.36).

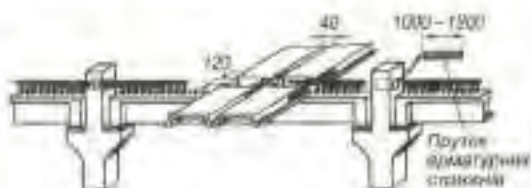


Рис. 20.36. З'єднання збірно-монолітної конструкції каркаса будівлі

20.10. ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Різні споруди типу оболонки, несучою основою яких є плоскі або зігнуті металеві листи (пластинки та оболонки) утворюють групу листових конструкцій, які застосовують для зберігання, транспортування, технологічної переробки рідин, газів і сипких матеріалів.

Залежно від призначення листові конструкції класифікуються на:

- резервуари для зберігання рідин (нафти, нафтопродуктів, спирту, кислот, зріджених газів);
- газгольдери для зберігання і вирівнювання складу газів;
- бункери і силоси для зберігання й перевантаження сипких матеріалів (руди, цементу, шкору, вугілля тощо);
- листові конструкції доменних цехів (кожухи доменних печей, повітрянагрівачів, плавильнозв'язувачів);
- листові конструкції спеціальних технологічних установок хімічних і нафтопереробних заводів;
- трубопроводи великого діаметра для транспортування води і газів на гідроелектричних, нафтохімічних, металургійних та інших підприємствах.

Листові конструкції мають великі геометричні розміри, тому їх збирають із окремих конструктивних елементів, що зумовлює наявність великої кількості зварних швів, до яких ставляться вимоги щодо щільності та міцності.

У процесі експлуатації листові конструкції піддаються корозійному впливу з боку продуктів, які зберігаються, і це різко зменшує їх довговічність. Відомі випадки виходу із ладу резервуарів і трубопроводів під дією сірчанних сполук, які знаходяться в продуктах, що зберігаються або транспортуються, за короткий термін експлуатації (2–3 роки).

Для збільшення терміну служби споруд на поверхні стінок, що контактує з продуктами, доцільно наносити покриття із спеціального захисного лакофарбового матеріалу, цинку, алюмінію або іншого корозійостійкого матеріалу.

Посудини, призначені для приймання, зберігання, технологічної обробки й відпуску різних рідин, нафти, нафтопродуктів, зріджених газів, води, водного аміаку, технічного спирту тощо, називаються резервуарами.

Залежно від геометричної форми і положення в просторі сталеві резервуари поділяються на: вертикальні циліндричні, горизонтально-циліндричні, сферичні, краплеподібні, траншейні.

При спорудженні конструкції великих розмірів можливі значний об'єм збірально-зварювальних робіт, які намагаються виконувати в умовах заводу-виробника. Розміри елементів конструкцій, що перевозяться до місця монтажу, не повинні перевищувати габарити рухомого складу залізничних доріг. Листові полотна товщиною до 18 мм перевозять у вигляді рулонів. Метод рулонування розроблено в Інституті електрозварювання ім. С. О. Патонова. Крутий вузли конструкції у вигляді полотна великого розміру збирають, зварюють у рулон на спеціальних установках (рис. 20.37), які мають два яруси 1 і 3, а також барабан 2 для передачі полотна з одного яруса на інший з поворотом на 180°. На двох ярусах розташовані чотири робочі дільниці: збирання зварювання з одного боку, зварювання з іншого боку, контролю та виправлення дефектів. Переміщення полотна й скручування рулону проводять ритмічно після завершення роботи на кожній ділянці. При цьому полотна накручують на каркас 4, який закріплений в обертачах.

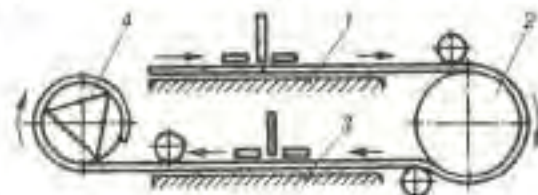


Рис. 20.37. Принципова схема двоярусного пристрою:

1, 3 – яруси; 2 – барабан; 4 – каркас

Листи товщиною до 8 мм збирають унапуск і зварюють. Це пояснюється тим, що такі листи простіше збирати та зварювати, причому скручування такого напусткового з'єднання утруднений не викликає. При товщині листів більше 8 мм місце напуску має помітну жорсткість і для скручування незручне. Стикове з'єднання листів

Оскільки кінцевий шов, який з'єднує бокову стінку з дном, у цьому випадку виконується при повністю звареному дні, можливе його адуття внаслідок втрати стійкості. При виготовленні резервуарів великого об'єму (понад 10 000 м³) для запобігання утворенню таких деформацій у шві рулона виготовляють тільки центральну частину дна, а окантовані елементи зварюють між собою при монтажі з окремих листів. Для збирання використовують клянові пристрої. Центральну частину дна приведуть до звареного із окантованих елементів кільця прихватками і розгортають рулон бокової стінки. Після приварювання її нижньої кромки до кільця із окантованих елементів прихватки видаляють, адуття виправляють шляхом зсуву листів у напустах і тільки тоді шви між центральною частиною дна і окантованими елементами зварюють повністю.

Стінки резервуарів виставляють на монтажу покладену в одному або декількох рулонах. На підготовленому дні рулони встановлюють у вертикальному положенні (рис. 20.45).

Розгортання рулонів, нижню кромку стінки прикріплюють до дна прихватками (рис. 20.46).

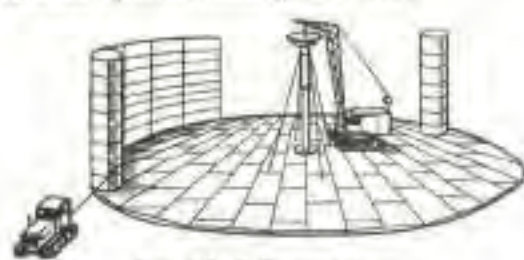


Рис. 20.45. Розгортання рулонової стінки резервуара



Рис. 20.46. Криплива треса на рулоні при його розгортанні

Верхню кромку фіксують або одночасно змонтованими щитами покриття, при їх відсутності – підтяжками. При монтажі мокрих газгольдерів для одержання трьох окремих концентрично розташованих стінок 1 дзвону і стінок 2, 3 телескопа розгортання трьох рулонів виконують одночасно за схемою (на рис. 20.47).

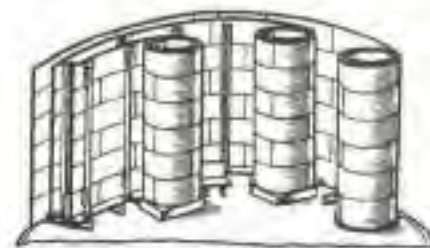


Рис. 20.47. Паралельне розгортання рулонів мокрого газгольдера

Розглянуті прийоми монтажу утишно використовуються для резервуарів об'ємом до 30 000 м³. Для більших резервуарів використання високих рулонів (18 м), застосування високоміцних сталей і відносна товщина поясів утруднюють керування розгортанням рулонів, стикування вертикальних кромek окремих рулонів,

розкриття полотна, які розгортаються. Крім того, значно погіршується навантаження вітру. Тому для крупних резервуарів доцільніше використовувати прийом монтажу із розгортанням рулонів у горизонтальному положенні за допомогою шаблону (рис. 20.48).

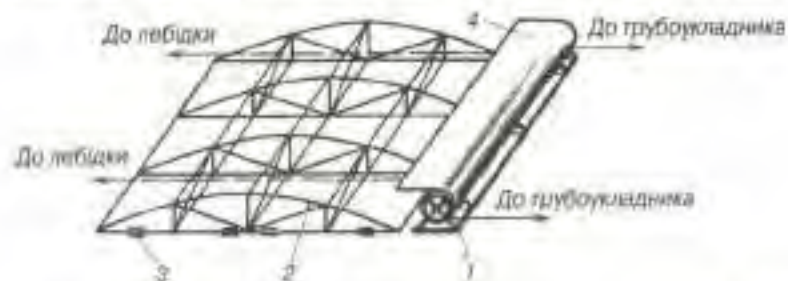


Рис. 20.48. Схема горизонтального розгортання рулону з допомогою шаблону: 1 – рама; 2 – шаблон; 3 – швартовні опори; 4 – рулон

Шаблон 2 – це просторова конструкція, яка складається з декількох плоских ферм, з'єднаних прогонами і зв'язками. Верхні криволінійні пояси ферм виконані по внутрішньому радіусі резервуара; нижні пояси – прямолінійні. Довжина верхнього пояса ферми трохи більша від довжини полотна, яке розгортається, і становить майже 30 м. Нижній пояс крайньої ферми має швартовні опори 3 для повороту, які приварюють до дна резервуара так, щоб після повороту шаблону у вертикальне положення його криволінійні перекриття співпали з проектним положенням вертикальної стінки.

Рулон 4, який розгортають, закріплюють у вертикальному положенні в центрі рами, яку встановлюють поряд з шаблоном. Розгорнуте за допомогою лебідок і трубоукладників полотно кріплять до елементів верхніх поясів шаблону. Потім до зовнішніх поверхонь розгорнутого полотна підганяють і приварюють секції кільця жорсткості, тимчасові стійки та інші деталі. Після завершення збирання шаблон разом з полотном піднімають у вертикальне положення самохідним краном і повертають навколо швартів (рис. 20.49).

У проектному положенні полотно закріплюють із зовнішнього боку резервуара і приварюють до дна. Потім шаблон від'єднують від полотна та дна, переносять на наступну ділянку і цикл повторюється.

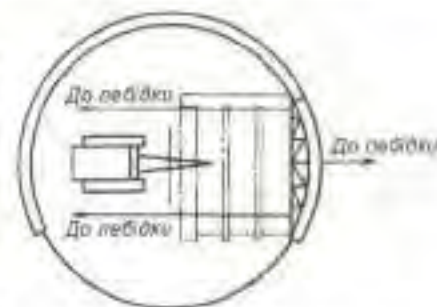


Рис. 20.49. Підйом чергової секції стінки резервуару

При товщині металу понад 18 мм для резервуарів об'ємом 50 000 і 100 000 м³ використовують метод блокового збирання. У цьому випадку окремі листи збирають у блоки на заводах-виробниках. Блоки з'єднують багатопарними монтажними зварочними швами. Вертикальні стінки монтують з окремих листів чи блоків, починаючи з нижнього пояса методом нарощування. На дніще по розмітці встановлюють окремі листи нижнього пояса, укріплюючи їх між собою і дніщем за допомогою збиральних пристроїв.

Горизонтальні шви зварюють двома напівавтоматами одночасно два зварники, які переміщуються вздовж стілки в пересувних кабінах або зварюють автоматами під флюсом. Флюс у зоні зварювання підтримується доменним стрічковим або пластинчастим конвеєром. Вертикальні шви зварюють напівавтоматами.

Стационарний дах споруджують на резервуарах об'ємом до 20 000 м³. На резервуарах можуть бути плаваючі дахи будь-яких розмірів при відсутності в районах їх спорудження значних сніжних опадів.

Стационарний дах монтують з окремих щитів. За збільшенням розмірів резервуарів та їх діаметрів трудність спорудження покрить зростає. Тому ведуться пошуки нових конструктивних і технологічних рішень, які дозволяють організувати поточе виробництво покрить із невеликої кількості стандартних елементів. Одним із перспективних напрямів є створення купола, які збираються із однакових плоских або просторових елементів обмеженої кількості типів. Індивідуально виготовляється тільки елементи озерація щитів на кромку стінки.

Уніфіковані щити покриття виконані з листів металу товщиною 4 мм з елементами жорсткості, розташованими в одному напрямку з нижнього боку листа, а в другому напрямку – з верхнього. Виключаючи перерізи елементів жорсткості, одержують стійку техно-

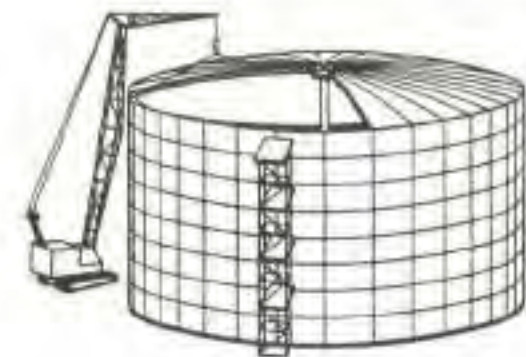


Рис. 20.50. Монтаж щитів стационарного даху

логічну конструкцію, зручну для організації великосерійного виробництва однотипних плоских панелей на поточних або автоматичних лініях. На місці монтажу з елементів збирають у кондукторі повний секторний щит. На рис. 20.50 показано монтаж щитів покриття резервуарів.

20.12. СФЕРИЧНІ РЕЗЕРВУАРИ

Сферичні резервуари споруджують об'ємом 600 м³ і 2 000 м³, діаметром 10,5 м і 16 м відповідно, при товщині оболонки 16–36 мм (рис. 20.51).

При розкритті (рис. 20.52 а, б, в) і товщині до 22 мм фелюстки одержують холодною вальцюванням за допомогою спеціального багатоважкового стенда. Заготовки перед вальцюванням збирають із листів і зварюють автоматичним зварюванням під флюсом. Вихідну форму заготовки надають газовим різанням по шпильковій контурі. Розміри, одержані після вальцювання фелюсток, перевіряють габарит рухомого залізничного ешалоту. Тому їх після контрольного збирання розрізають на дві вершинні частини і вишукістю вниз укладають під спеціальні контейнери для перевезення до місця монтажу. Елементи, які надійшли із заводу, на монтажі збирають у блоки. З'єднання блоків виконують у нижньому положенні під флюсом на стеліх качалках. Можливе електрошлакове зварювання (рис. 20.53).



Рис. 20.51. Сферичний резервуар об'ємом 600 м³

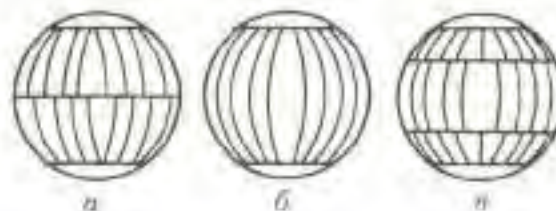


Рис. 20.52. Схеми розкриття каруселі сферичного резервуара



Рис. 20.53. Послідовність збирання резервуара методом послідовного нарощування при горизонтальній орієнтації блоків

Форма розробки кромки і послідовність їх заповнення залежать від товщини стінки резервуара. При товщині стінки 16 мм застосовують двобічне автоматичне зварювання без розробки кромки. Перший шов виконують із внутрішнього боку оболонки по рухомому підвареному шару, другий – зовні. При товщині оболонки 34 мм більшість швів виконують із зовнішнього боку. Застосування

маніпуляторів при монтажі резервуарів дозволило основний об'єм зварювальних робіт виконувати автоматичним зварюванням. Але є її серйозні недоліки: необхідно обернути важку конструкцію, використовуючи складні маніпулятори.

Зварювання з примусовим формуванням може виконуватися на одному боці або на двох. Зібрані стики закріплюють прихватковими швами або за допомогою тимчасових скоб. Ущільнення стиків може забезпечуватися і без прихваткових швів, формуючими підкладками (рис. 20.54 а) або водоохолоджувальними трубками (рис. 20.54 б, в).

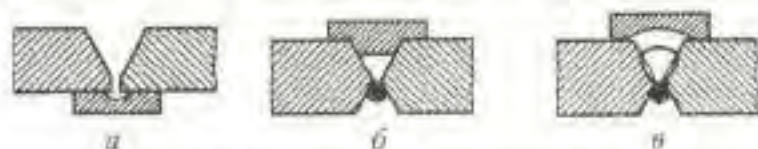


Рис. 20.54. Схеми зварювання стиків:
а — формуючі підкладки; б, в — водоохолоджувальні трубки

20.13. ПОСУДИНИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ПІД ТИСКОМ. ТИПИ ПОСУДИН

Посудини, що працюють під тиском, виготовляють у формі циліндра (рис. 20.55 а), тора (рис. 20.55 б) або сфери (рис. 20.55 в). Характерними для посудин є стикові з'єднання.

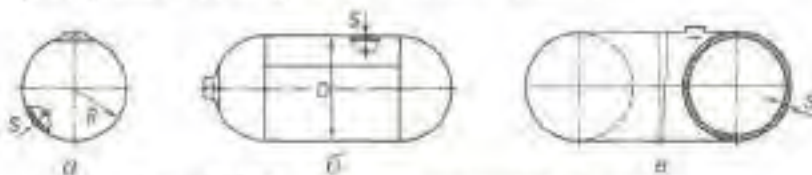


Рис. 20.55. Типи посудин, які працюють під тиском:
а — сфера; б — циліндр; в — тор

«Обичайки» зварюють прямокутними подовжніми швами. Кільцевими швами з'єднують сферичні дніща та «обичайки», круговими швами зварюють штуцери у циліндричні й торові елементи.

Тонкостінні посудини (товщиною до 7 мм) виготовляють із низькоуглецевих і низьколегованих сталей низької та середньої міцності. Для високо- і особливоміцних сталей, сплавів металів, алюмінію застосовують зварювання в захисних газах. Приклади конструктивного оформлення стикових з'єднань показані на рис. 20.56. З'єднання без підкладки (рис. 20.56 а) є основним, але складні для збирання і зварювання в повнім проплавленні. З'єднання з підкладкою, що залишається, (рис. 20.56 б) дозволяють упростити збирання і зварювання кільцевого шва, але їх можна застосовувати

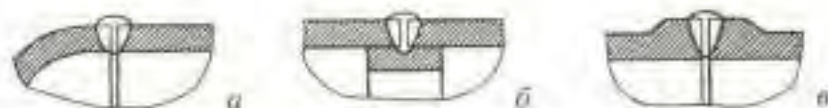


Рис. 20.56. Конструктивне оформлення кільцевих стиків:
а — з'єднання без підкладки; б — з'єднання з підкладкою, що залишається; в — місцeve ущільнення стики в зоні шва

лише для сталей низької та середньої міцності, які мають хорошу зварюваність і малу чутливість до концентраторів напружень. З'єднання з місцевим ущільненням стики в зоні шва (рис. 20.56 в) використовують у випадку необхідності компенсувати послаблення основного металу в зоні з'єднання.

Технологія збирання та одностороннього зварювання подовжніх швів тонкостінних посудин передбачає застосування стейдів із клавінними затискачами, які забезпечують рівномірне й щільне притискання кромки до підкладки.

20.13.1. Зварювання посудин, які працюють під тиском

Посудини, які працюють під тиском, — це герметично закриті ємкості, призначені для виконання різних хімічних і теплових процесів, а також для зберігання і перевезення стиснених, зріджених і розширених газів і рідин під тиском. Пустотілі посудини використовують переважно для зберігання і перевезення, а з внутрішніми пристроями (гарілками, мішалками, дифузорами) — для ведення хімічних або теплових процесів. Найчастіше зустрічаються такі типи пустотілих посудин: сферичні резервуари, виготовляються монтажними організаціями із заводських заготовок безпосередньо на будівельній площаді; горизонтальні ємкості повної ємкості («лежачки», «булліти») та автоклави.

До посудин із внутрішніми пристроями відносять нафтохімічна апаратура багатьох видів: колони ректифікаційні, абсорбери, реактори, фільтри, а також теплообмінна апаратура.

Посудини, які працюють під тиском, зустрічаються на підприємствах усіх галузей народного господарства.

Конструкція посудин повинна бути достатньо надійною, безпечною в експлуатації та передбачати можливість зовнішнього й внутрішнього огляду, промивання, продування та ремонту.

Зварні шви посудин, які працюють під тиском, повинні бути тільки стиковими, допускається застосування таврових зварних з'єднань для приварювання плоских днів, плоских приварених фланців, а також штуцерів — відрізок труб у стінці посудини. При зварюванні штуцерів з метою підвищення надійності з'єднання встановлюють накладку, яку іноді називають «комірком».

На рис. 20.57 наведено схему встановлення й приварювання штуцера з накладкою. У стикових зварних з'єднаннях посудин з різною товщиною стінок повинен бути забезпечений плавний перехід від одного елемента до іншого. Перехресні перерізи зварних швів, виконаних ручним дуговим зварюванням, не допускаються. В цьому випадку шви повинні бути зміщені один щодо одного на віддалі, яка дорівнює двократній товщині найтоншого зварного елемента, але не менше 100 мм.

Ці вимоги не поширюються на зварні шви, виконані механізованим або автоматизованим зварюванням.

З урахуванням можливості проведення огляду зварних швів посудин, не дозволяється розташовувати подовжні шви горизонтальних посудин у межах центрального кута нижньої частини корпусу посудини, рівного 140°. У випадку приварювання опор або інших конструкцій до корпусу або дна посудини зварні шви розташовують (рис. 20.58) поза її опорою. Віддалі між краєм зварної посудини і краєм шва приварювання повинен бути не менше товщини стінки посудини, а зварні шви повинні бути доступні для контролю при виготовленні, монтажі та експлуатації.

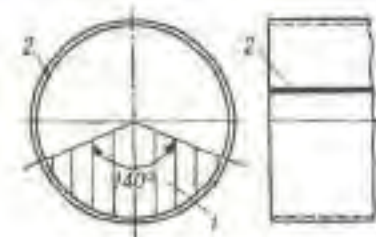


Рис. 20.58. Розташування подовжніх швів у горизонтальній посудині.
1 — зона, в якій зварні шви не розташовуються, 2 — зварний шов

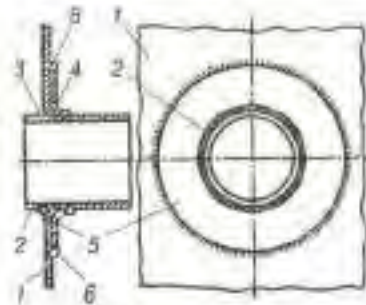


Рис. 20.57. Установлення штуцера на корпусі посудини.
1 — стінка посудини, 2 — штуцер, 3 — внутрішній шов (при діаметрі посудини 800 мм і більше), 4 — зовнішній шов, 5 — накладка (комбі), 6 — шов приварювання -комбі

20.14. ТРУБОПРОВОДИ, ТРУБИ. КЛАСИФІКАЦІЯ. ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ

Трубопроводи є одним із найпоширеніших видів зварних конструкцій. Вони знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства. Особливо великий об'єм трубопроводних робіт при будівництві і реконструкції промислових об'єктів, спорудженні об'єктів транспорту, нафтопереробної і нафтохімічної промисловості.

Трубопроводи — це пристрої для транспортування рідин, газоподібних і сипких речовин при різних тисках і температурах. Оскільки пропускна здатність трубопроводів різна, то і розміри їх

(діаметри) також коливаються у великому діапазоні. Пероз'єднання в трубопроводах виконують за допомогою зварювання, а роз'єднанні — різьбових з'єднань (на фланцях і муфтах).

До більшості трубопроводів ставляться підвищені вимоги: дотримання правил проектування, виготовлення й монтажу, тому що від якості трубопроводів, їх міцності та працездатності залежить надійність і довговічність споруджуваних об'єктів. Це відноситься як до промислових підприємств, де аварія трубопроводу може призвести до пожеж, вибухів і зупинки виробництва, так і об'єктів комунального господарства, де дефекти в трубопроводах газу можуть призвести до тяжких наслідків.

Надійність трубопроводів — це їхня здатність протягом заданого часу забезпечувати транспортування продуктів за заданим проектом і технічними умовами параметрами процесу і тиску, витратами, температурою.

Критерії надійності — безвідмовність, довговічність і ремонтоздатність.

Безвідмовність — здатність працювати із заданим режимом протягом певного часу без порушення його працездатності (разриву труби або стілки, порушення герметичності тощо).

Довговічність — здатність трубопроводу зберігати працездатність протягом заданого проміжку часу при дотриманні правил його експлуатації, в т. ч. здійснення ремонтів. Показник довговічності — термін служби трубопроводу.

Конструкція трубопроводів повинна бути придатною до можливості попередження, виявлення, ліквідації, відмов шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів. Такі властивості називаються **ремонтоздатністю**.

Крім того одним із показників надійності трубопроводу є **стійкість проти корозії**.

Технологічні трубопроводи поділяються на внутрішньопехові (зв'язуючі) і міжпехові. Внутрішньопехові трубопроводи найскладніші за конфігурацією, наповнені деталями та арматурою й дуже трудомісткі при виготовленні. Приблизно на 1 м такого трубопроводу припадає одне зварне з'єднання. Міжпехові трубопроводи мають великий діаметр і меншу кількість зварних з'єднань (одне з'єднання на 6–10 м трубопроводу).

Трубопроводами часто транспортують продукти, які корозійно й ерозійно діють на них: токсичні, вибухонебезпечні та горючі речовини. Трубопроводи працюють при температурі від -150°C до $+700^{\circ}\text{C}$, при роз'єднанні до 0,1 МПа і тиску до 250 МПа. Такі складні умови роботи вимагають високої якості зварних з'єднань.

Технологічні трубопроводи виготовляють із труб діаметром 6–1 600 мм із низьколегірованих, низько- і високалегірованих сталей, навуєнів, кольорових металів та їх сплавів і неметалевих матеріалів

(пластмас, скла та ін.). Незважаючи на велику різноманітність трубопроводів, всі вони виготовляються із стандартних або нормалізованих деталей (рис. 20.59).

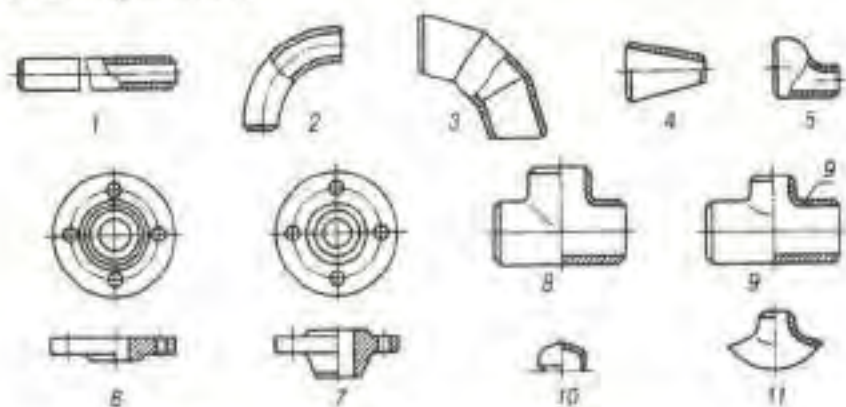


Рис. 20.59. Приварені деталі сталевих трубопроводів:

1 — патрубок (відізок труби); 2 — круголінійний відвід; 3 — зварний відвід; 4 — конічний перехід; 5 — ексцентрисний перехід; 6 — фланець приварен; 7 — фланець приварен стиковий; 8 — рівнопрохідний трійник; 9 — нерівнопрохідний трійник; 10 — еліптична заглушка; 11 — накладна одловина

Спочатку з окремих деталей зварюють елементи трубопроводу (рис. 20.60) в трубозаготівельних цехах. Елемент складається з двох і більше деталей.

Група	Приклади конструкційних елементів		
I Т-Д			
II Д-Т-Д			
III Д-Д			
IV Т-Д-Т			
V Д-Д-Т			
VI Д-Д-Д			

Рис. 20.60. Класифікація елементів трубопроводів: Т — труба; Д — деталь

Елементи групуються із деталей таким чином, щоб усі зварні з'єднання лежали в паралельних площинах. Це дозволяє зварювати їх механізованими способами в поворотному положенні в одній установці на обертачі. Елементи груп I (труба-деталь Т-Д) і II (деталь-труба-деталь Д-Т-Д) становлять 80% загального числа елементів (рис. 20.60).

При виготовленні й монтажі трубопроводів в основному застосовують зварні з'єднання (рис. 20.61).

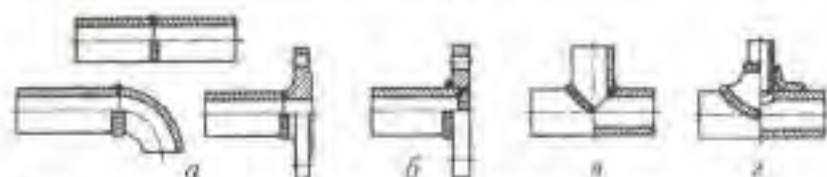


Рис. 20.61. Типи зварних з'єднань, які застосовуються при виготовленні й монтажі трубопроводів:

a — стикові; б — стикові; в — фасонні (при з'єднанні труби в трубу); г — накладки (при приварюванні одловини)

При виготовленні технологічних трубопроводів більшість об'ємів збирально-зварювальних робіт намагаються виконати в цехових (заводських) умовах.

Найчастіше труби зварюють кільцевими швами. Для збирання використовують спеціально сконструйовані пристрої, які дають можливість фіксувати деталі в заданому положенні, а також виконувати необхідне регулювання для правильного взаємного встановлення стикових кромки в просторі.

При зварюванні стиків міцність зварного з'єднання залежить від якості кореневого шва. Кореневий шов «на вазі» можна виконати (рис. 20.62): дуговим зварюванням покритим електродом, аргонодуговим та аргонодуговим зварюванням по розплавленому кільцю.

Найкращу якість внутрішньої поверхні шва забезпечують останні два способи.



Рис. 20.62. Способи зварювання кореневого шару «на вазі»:

a — дуговим зварюванням покритим електродом; б — аргонодуговим зварюванням; в — аргонодуговим зварюванням по розплавленому кільцю

20.14.1. Зварювання труб магістральних трубопроводів

Роботок зрубопроводів транспорту вимагає збільшення виробництва труб великих діаметрів із низькоуглецевих сталей. Для магістральних трубопроводів труби виконують зварюванням під флюсом, шви розташовують по утворючій або во стирсілі.

Технологічні операції виготовлення труб на Харківському трубному заводі наведено на рис. 20.63.

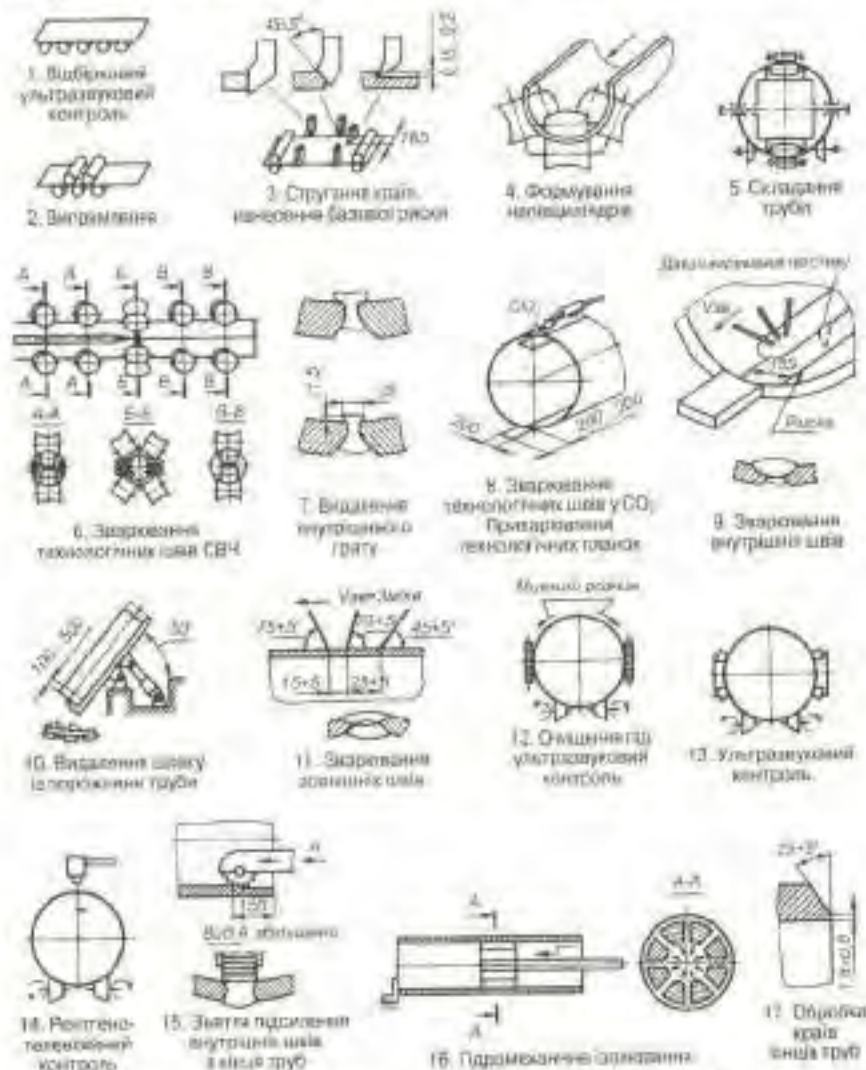


Рис. 20.63. Технологічні операції виготовлення труб на Харківському трубному заводі

Технологія виготовлення дванадцятиметрових прямолинійних труб діаметром 1 020–1 420 мм на Харківському трубному заводі характеризується послідовністю виконання швів, прийомом формування та калібрування труб, а також організацією контролю якості.

Листи після вибіркового ультразвукового контролю (рис. 20.63, операція 1) і випрямлення (операція 2) центруються і проходять через верстат для обробки кромки, зняття фасок і нанесення ліній (операція 3), яка використовується для автоматичного направлення електрода по штику.

Формування найвищелінійних заготовок (операція 4) проходить у рамках семикліткового верстата, зніжки полярно відходять на збирання (операція 5) і прихватку технологічними швами. Останні виконуються струмами високої частоти або в середовищі вуглекислого газу в одному із двох агрегатів, установлених паралельно один до одного.

При виконанні швів СВЧ (операція 6) штики розташовують у горизонтальній площині і зварюють однією з наступним віддаленим внутрішнім швом (операція 7).

При виконанні технологічних швів в CO_2 (операція 8) штики розташовують у вертикальній площині і зварюють послідовно з кінтуванням на 180° шістьма однодуговими апаратами, установленими через кожні 2 м, при русі труби з швидкістю зварювання на довшні, яка трохи перевищує відстань між зварними голівками.

Після візуального контролю технологічних швів і приварювання технологічних пластинок (операція 8) труби поступають на зварювання внутрішніх робочих швів (операція 9), де переміщення труби із швидкохідною швидкістю забезпечується ланковим заштохувачем, а прийом і видача труби з мариною швидкістю – роликовим конвеєром. Зварювання здійснюють тридуговим апаратом А-1448 «на стусі», слідкування за напрямком електродів по штику проводиться автоматично або візуально шляхом суміщення вертикальної лінії «хреста» на екрані телевізора з лінією на внутрішній поверхні труби. Після виконання кожного робочого шва поверхню труби очищують на установках з поворотною рамою (операція 10). Стани для очищення зовнішніх робочих швів (операція 11) відраляються тільки розташуванням азарковального апарата, а за положенням електродів відносно штику зварник сльдує за допомогою світлової вказівки. Попередньо охолоджені водою і змийним розчином (операція 12) труби проходять повний ультразвуковий контроль (операція 13) зовнішніх і внутрішніх робочих швів з відмічанням дефектних місць фарбою.

При наявності дефектних відміток трубу направляють на рентгенотелевізійну установку для розшифрування (операція 14).

Після обрізання кінців труб і зняття посилення внутрішнього шва на довжині 150 мм фрзерними голівками (операція 15) внутрішню поверхню труби проминають на поворотній секції калібрування конвеєра за допомогою гідромонітору і подають на калібрування.

яке здійснюється гідромеханічним експандером шляхом послідовного розтискання по всій довжині (операція 16). Для цього трубу кроками пускують на калібрувальну головку експандера.

При нерухомій трубі шток екслюзивного циліндра переміщує шугральний клин з границями і розсуває робочі сегменти, забезпечуючи розтискання ділянки труби до заданого діаметра. Відкалібровані труби проходять гідропробування внутрішнім тиском, а потім контролюються повторно ультразвуком з метою виявлення дефектів, які розкрилися в процесі калібрування і гідропробування. Обробка кінців труб (операція 17) виконується одночасно двома обертовими головками з різцями.

20.14.2. Зварювання стиків труб

Магістральні газо- та нафтопроводи прокладають від районів добування до великих промислових зон на відстані до декількох тисяч кілометрів. Трубопроводи споруджують в основному з труб діаметром 1 020–1 420 мм. Вкладання трубопроводів може здійснюватися послідовним нарощуванням окремих труб або бути секційним. У першому випадку всі стики зварюють без обертання труб, у другому окремі труби довжиною 12 м після викантаження з вагонів доставляють на тимчасові польові бази, збирають у секції довжиною 36 м, потім перевозять безпосередньо на трасу трубопровідними машинами. При з'єднанні секцій в неперервну нитку в основу організації збирально-монтажних робіт покладено поточний метод. Трубопровід, який споруджується, є ніби нерухомим конвєстром, вздовж якого рухається механізована колона, ритмічно виконуючи всі технологічні операції з продуктивністю приблизно 1 км за добу.

Збирання під зварювання труб магистральних трубопроводів є відповідальною операцією, яка визначається якістю одержаного стикового шва. Як на польових трубозварювальних роботах, так і на трасі, для збирання труб під зварювання кільцевих швів застосовують зовнішні або внутрішні центратори.

20.14.3. Ручне дугове зварювання неповоротних стиків магистральних трубопроводів

Ручне дугове зварювання неповоротних стиків магистральних трубопроводів ведуть поточним методом, виконуючи багатопаровий шов (рис. 20.64). Така організація робіт забезпечує високу продуктивність, але при цьому є велика потреба у висококваліфікованих робітниках – зварниках.

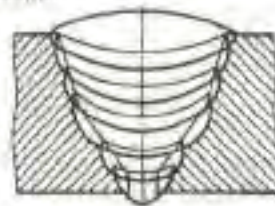


Рис. 20.64. Схема заповнення розробки кромки

Щодо труб діаметром 1 420 мм з товщиною стінки 17,5 мм, виготовленими з сталі із границею міцності 550–750 МПа, використовують наступну послідовність операцій. Секції труб попереду розкладають за опори вздовж траси під кутом 15–20° до напрямку лінії трубопроводу і проводять зачищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь поблизу кромки шліфувальними машинками з абразивними кругами (рис. 20.65). Попередній підігрів кромки труб до температури 150–200°C проводять перед стикуванням труб або після. Для підігріву використовують кільцеві газові пальники.

Збирання стика виконують за допомогою трубоукладача. Допуски на збирання стика показані на рис. 20.66.

Поточно-розчленований метод передбачає вкладання кожного шару окремими ланками зварників (рис. 20.67) у складі від двох до чотирьох чоловік залежно від діаметра трубопроводу. При цьому кожний із зварників ланки виконує тільки свою визначену ділянку шару на везміному режимі. Порядок зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1 420 мм показано на рис. 20.68.

Два зварники із сходнок-драбичок ведуть зварювання верхньої напівокружності труби, а два інших зварюють нижню напівокружність труби.

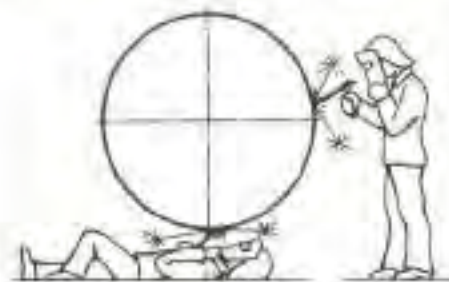


Рис. 20.67. Схема зварювання стика

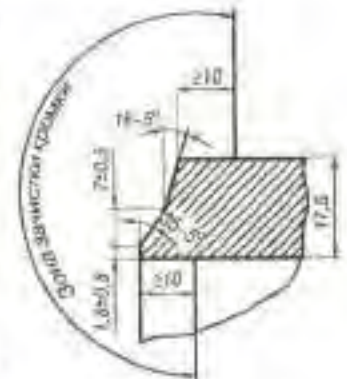


Рис. 20.65. Розробка кромки труби і зона її зачищення

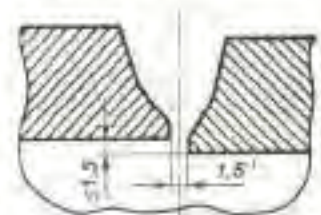


Рис. 20.66. Допуски на збирання стика труби

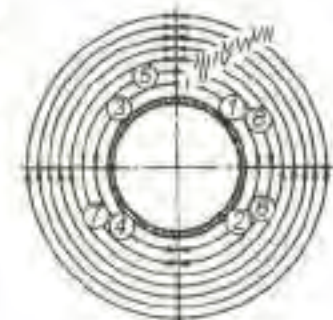


Рис. 20.68. Порядок накладання шарів шва при поточно-розчленованому методі роботи (діаметр труб 1420 мм): I–IV – шари шва, I–8 – розташування зварників

Корінний шов зварюють усі члени ланки, яка виконує збирання стілки. Зварювання ведуть у напрямку зверху вниз методом опирання електроди на кромки труб без коливальних рухів. Застосування електродів із целюлозним покриттям забезпечує швидкість зварювання до 22 м/год і гарантує утворення зворотного валика в середині труби, що виключає необхідність підварювання кореня шва в середині труби. Але для таких електродів при високій продуктивності характерне утворення «кишеч» із шлаком (рис. 20.69 а). Тому після завершення зварювання корінного шва відразу ж товкими шліфувальними кругами видаляють приблизно 1/4 частину вертєру шва для відкриття шлук «кишеч» (рис. 20.69 б).

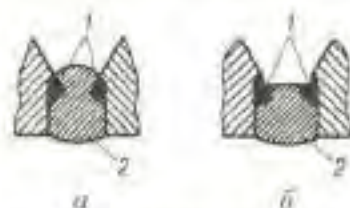


Рис. 20.69. Шліфування кореня шва зобразованим колом:

а — до шліфування; б — після шліфування; 1 — шлак; 2 — наплавлений метал

Електроди з целюлозним покриттям забезпечують високе відносне відокремлення і меншу межу міцності порівняно з електродами з основним покриттям. У результаті корін'я шва менше схильний до крихких руйнувань та утворення тріщин, що дуже важливо при виконанні монтажних операцій на секції, коли вона приєднувалася до ланки трубопроводу тільки кінцевими швом. Вільний стінець секції опускають на монтажну опору з дерев'яних брусків і пристикають до нього наступну секцію труби. Відразу ж після зварювання корінного шва другий шар шва («старчий прохід») виконує ланка з чотирьох зварювань. Зварювання проводять електродом з целюлозним покриттям або з основним покриттям у напрямку зверху вниз з поперемітною коливаннями електроди. Наступні шари, заповнюючі й облицювальні, виконуються електродом з основним покриттям.

Після зварювання кожного шару поверхню шва зачищають від шлаку за допомогою електроншліфувальних машинок. Після завершення зварювання стілки або при вимушених перервах у зварюванні стілку накривають теплоізоляційним поясом. Зварювальні джерела живлення розташовують на чотирьохстовпній уніфікованій зварювальній установці (рис. 20.70). Вона комплексується переносною палаткою, що захищає місце розташування зварюного стілку від вітру, дощу або снігу. Палатка має закладені вікна, додаткове освітлення, вентилятор для відсмоктування газів.

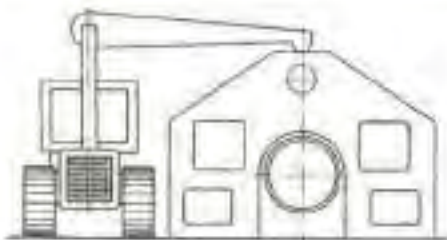


Рис. 20.70. Чотирьохстовпна уніфікована зварювальна установка

20.14.4. Зварювання трубопроводів у захисних газах

Зварювання в захисних газах (CO_2 або $\text{CO}_2 + \text{Ar}$) внаслідок меншого стікання розплавленого металу широко застосовується при монтажі трубопроводів. При зварюванні неповоротних стінок на трасі застосовують механізоване чи автоматичне зварювання. Підготовка кромки під зварювання виконується двома пристроями, підвишеними на стрілах трубоукладача. Кожен пристрій закріплюють на внутрішній поверхні труби, після чого його шість головок з різцями обробляють торець труби. А сталеві дратини щітки захищають кромки в зоні зварювання. Після зачищення кромки установлюють стрічку-пояс, по якій будуть переміщуватися рамки зварювальних головок при зварюванні зовнішніх шарів шва.

Стілка труби під зварювання збирають за допомогою трубоукладача і внутрішнього самохідного центратора, оснащеного шістьма зварювальними головками. Кожна зварювальна головка зварює 1/6 частину окружності стілки. Захисний газ подається з балонів. Зварювання одночасно ведуть три головки однієї половинки стілки, починаючи від азеніту і переміщуючись у напрямку зверху вниз від своїх вихідних позицій. Потім три автомати другої половинки завершують зварювання кореня шва.

Ще до закінчення зварювання корінного шва на ділянках стілки з проваренням із внутрішнього боку коренем шва починають зварювання двома автоматами першого зовнішнього шару. Зварюють зверху вниз без коливань електродного дрену. Потім зовнішні зварювальні автомати знімають і переносять до верхового стілки.

Автоматичне зварювання в захисних газах неповоротних стінок труб із застосуванням установок «Сатурн» комплексу «Стілка» забезпечують високі темпи монтажу труб, можливість замінити чотири зварювання, проводити зварювання стінок на прямолінійних ділянках траси, на коротких ділянках, поблизу створуд, на болотистих ділянках.

Широко застосовують також контактне зварювання труб, при якому з'єднання отримується одночасно по всьому периметру стілки. При цьому створюються кращі умови для механізації і досягається висока продуктивність зварювальних робіт.

20.15. ЗВАРЮВАННЯ ЄМКОСТЕЙ З-ПІД НАФТОПРОДУКТІВ

Зварювання бочок, бензобаків, цистерн з-під нафтопродуктів є небезпечним. Крім того, при цьому виникають відомі труднощі. Особливо небезпечні ємкості з-під бензину. У такій тарі при тривалому зберіганні містяться пари палива, які при зварюванні можуть загорітися або вибухнути.

Безпечним способом зварювання є наповнення емкостей відпрацьованими газами карбидаторних двигунів, які не містять кисню. Вони випускають із тари повітря разом з парами палива. Обов'язково встановлюють сітковий іскрогасник або водний іскрогасник. Вибір газу під автомобіля можна виконувати через глушник за допомогою гумового шланга із встановленим іскрогасником. Одні кінець шланга міцно закріплюють хомутом на кінці труби глушника та іскрогасника. Другий, що йде від іскрогасника, надівають і закріплюють хомутом на сталевій трубі, яка опускається в смісць з водою. Зовнішній діаметр труби підбирають так, щоб між нею та стінками отвору під пробку в емкості залишався зазор, достатній для виходу повітря й газу. Внутрішній діаметр труби має бути 30–35 мм, довжина – 700–1000 мм. Бачок місткістю 8–10 л заповнюють на 2/3 водою. Вигідний газ проходить через воду, що запобігає проєкакуванню іскри в тару, і через іншу трубку з шлангом спрямовуються в ремонтований тару. Відпрацьовані газів необхідно подавати в процесі всього ремонту. Час витиснення із тари повітря залежить від її місткості і становить 3–25 хв при місткості від 200 до 1700 л. Замість відпрацьованих можна використовувати інші газів, наприклад, азот.

20.16. РЕМОНТ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗВАРЮВАННЯ

Процес виготовлення зварних конструкцій включає контроль і випробування важливих вузлів, а потім виправлення всіх виявлених дефектів. Витрати на ремонт можуть у 10 разів перевищувати вартість початкової зварювальної операції. Тому необхідне економічне обґрунтування необхідності ремонту. В умовах масового виробництва дрібні вузли дешевше перетворити на металобрухт, ніж виконувати ремонт. Для крупних конструкцій їх вноєка вартість і тривалий виробничий цикл роблять ремонт більш рентабельним.

Продуктивність ремонту визначають за часом проведення, витратами і якістю. Ремонт повинен закінчуватися з першої спроби і забезпечувати продовжену тривалість служби вузла або конструкції. Процес ремонту складається з декількох етапів. Спочатку виявляють дефекти та їх причини й збирають максимальну кількість інформації, що дає можливість правильно визначити технологію ремонту.

Визначення складу матеріалу є основним при розробці технології зварювання. Помилкове визначення складу матеріалу може призвести до вибору неправильної технології ремонту, що відіб'ється на якості виробу. Ідентифікацію матеріалів проводять за допомогою спектроскопічного або хімічного аналізу. При цьому визначають твердість, міцність, в'язкість, пластичність, використовують магніт для визначення ферромагнітності матеріалу, виконують пробу на іскру (див. додаток 2) та ін.

Перед зварюванням визначають розміри дефектів, усувають тріщини, виконують очищення і переірають якість основного матеріалу. Тріщини, що залишилися у виробі, при нагріванні будуть поширюватися. Шліфування й поверхневе різання також є причиною поширення тріщин. Для обмеження поширення тріщин просвердлюють отвори. В деяких випадках доцільно навколо тріщини наділати матеріал за допомогою спеціальних фрез. Після заварювання тріщини, місце, де вона була, переірають, використовуючи забарильну рідину або спеціальний пристрій, який працює з магнітними частинками. Це дає можливість впевнитися у повній ліквідації дефекту.

Вимоги до попередньої термообробки визначають залежно від складу матеріалу, його товщини і загальної жорсткості виробу.

Вибір процесу зварювання та обладнання часто обмежений, особливо коли ремонт виконують ручним дуговим зварюванням плавким електродом. При цьому слід пам'ятати, що умови, в яких проводять ремонт, більш складні, ніж при повноточковому виготовленні конструкцій. Насамперед це ускладнений доступ, матеріал шестієної мастилом, підвищена вологість навколишнього середовища тощо. Крім зварювання для відновлення спрацьованих деталей використовують наплавлення і наплення (газове, дугове, плазмове та ін.).

При розробці технологічного процесу ремонту слід визначити:

- режими попередньої й післязварювальної термообробки;
- тип зварювального процесу;
- характеристики зварювального обладнання;
- розхідні зварювальні матеріали;
- режими зварювального процесу;
- методику контролю зварювального процесу і результати зварювання.

Дуже важливо, щоб під час ремонту вимірювалися та реєструвалися окремі характеристики й параметри режимів зварювання. При відновленні спрацьованих і дефектних деталей оптимальні результати можуть бути досягнуті тільки після ремонту декількох аналогічних деталей та їх тривалій експлуатації в реальних умовах. Реєстрація параметрів технологічних процесів ремонту забезпечує одержання цінної інформації, яка може бути корисна при ліквідації інших несправностей, дефектів, вадомок тощо.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують зварні конструкції?
2. Як класифікують будівельні металоконструкції?
3. Як конструкції відносяться до машинобудівних?
4. Як класифікуються трубопроводи?
5. У чому особливості проектування будівельних металоконструкцій?

6. Як вибирають матеріали і способи зварювання зварних конструкцій?
7. Що розуміється під мідністю зварних з'єднань?
8. Що розуміється під технологічною мідністю зварних з'єднань?
9. Що розуміється під конструктивною мідністю зварних конструкцій?
10. Назвіть особливості зварювання будівельних конструкцій.
11. Де застосовують балкові конструкції, їх види і особливості виготовлення?
12. Як проводиться неперервне виготовлення балок?
13. З яких елементів складаються ферми?
14. Як класифікують ферми?
15. Які технологічні прийоми використовують при виготовленні ферм, мачт, башт?
16. Які технологічні прийоми використовують при виготовленні арматури залізобетону?
17. Як класифікуються листові конструкції?
18. Які технологічні прийоми використовуються при спорудженні листових конструкцій та резервуарів.
19. Назвіть технологічні прийоми, які використовуються при спорудженні сферичних резервуарів.
20. Які технологічні прийоми використовують при виготовленні посудин, які працюють під тиском?
21. Назвіть вимоги, які ставляться до трубостроєння, та основні способи їх виготовлення.
22. Охарактеризуйте технологію виготовлення труб і способи зварювання їх стінок.
23. Назвіть порядок зварювання труб великого діаметра.
24. Виберіть марки електродів для зварювання будівельних металоконструкцій. Обґрунтуйте свій вибір.
25. Назвіть способи зварювання кореневих шару «на вагі».

Розділ 21

ДУГОВЕ РІЗАННЯ

21.1. ОСОБЛИВОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ РІЗАННЯ

Термічним різанням називають процес відокремлення частини металу його окисненням або плавленням.

Суть різання окисненням полягає в нагріванні місця різання до температури спалаху металу, згоряння підігрітого металу в кисні та видаленні продуктів горіння із зони різа струменем кисню.

Суть різання плавленням полягає в нагріванні місця різання сильним концентрованим джерелом до температури, вищої за температуру плавлення металу, і видування розплавленого металу з місця різа дугою або газом.

Основними видами різання окисненням є: кисневе, киснево-флюсове, киснево-дугове, а плавленням – плазово-дугове, газолазерне, газодугове.

Для обробки мінералів, залізобетону й інших неметалевих матеріалів застосовують різання кисневим спосом і реактивним струменем.

За характером утворених різів розрізняють роздільне та поверхневе різання, а за шорсткістю поверхні різа – чистове й чорнове.

При роздільному різанні утворюються наскрізні розрізи (різання металу на частини, вирізання деталей із листа, сієс кромки під зварювання та ін.). Поверхневе різання призначене для зняття шару металу з поверхні оброблюваних деталей або заготовок (видалення дефектів швів, підготовка кромки під зварювання, стругання поверхні, виплавлення канавок тощо). Інтенсивне нагрівання металу електричною дугою широко використовується для різання.

Способи ручного і механізованого дугового різання:

- неплавким і плавким покриттями електродами;
- повітряно-дугове різання;
- киснево-дугове різання;
- плазове різання;
- різання під флюсом;
- дугове різання обертовим сталевим диском;
- газолазерне;
- підводне.

Особливості термічного різання металів вказані в табл. 21.1–21.6.

Таблиця 21.1

Способи різання різних металів

Метал	Кислородне	Кислородно-флюсове	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Дугове	Газолазерне
Ніжкромієва сталь	+	0	+	+	0	+
Користісна сталь	-	+	+	+	-	+
Чавун	-	+	+	+	-	0
Алюміній і його сплави	-	-	0	+	-	-
Магній і його сплави	-	-	-	+	-	-
Мідь та її сплави	-	0	0	+	+	-
Титан	-	0	0	+	0	+
Нікель	-	0	0	+	0	-

Примітка. ++ - доцільний спосіб різання; «0» - недовіданий спосіб різання; «-» - різання неможливе.

Таблиця 21.2

Рекомендовані способи термічного різання чавуну і кольорових металів

Матеріал	Способи різання
Чавун	Основний спосіб - повітряно-дугове. Кислородне різання утруднюється, тому що температура плавлення чавуну вище від температури його сплаву в кисні. Застосовують ручне дугове і плазмово-дугове різання.
Алюміній і його сплави	Найкращі результати дає плазмово-дугове різання. Кислородне різання перешкоджає тугоплавкості шлаку і висока теплопровідність.
Магній і його сплави	Практично використовують тільки плазмово-дугове різання.
Мідь та її сплави	Ефективне плазмово-дугове різання. Використовують також дугове і кислородно-флюсове різання, але необхідно підігрівання до температури 400-900°C.
Титан і його сплави	Кислородне різання без труднощів і в декілька разів швидше. Застосовують також дугове і плазмово-дугове різання.

Таблиця 21.3

Допустима шерсткість поверхні різа, мкм (ГОСТ 14792-80)

Клас	Різання	Норми при товщині металу, мм			
		5-12	12-30	30-60	60-100
1	Кислородне	0,05	0,06	0,07	0,085
	Плазмово-дугове	0,05	0,06	0,07	-
2	Кислородне	0,08	0,16	0,25	0,50
	Плазмово-дугове	0,10	0,20	0,32	-
3	Кислородне	0,16	0,25	0,50	1
	Плазмово-дугове	0,20	0,32	0,53	-

Примітка. Шерсткість вимірюється визначеним висоту перівкостей профілю R_a по 10 точках на базовій довжині 8 мм.

Таблиця 21.4

Класи точності вирізуваних деталей і заготовок (ГОСТ 14792-80)

Клас точності	Різання	Товщина листа, мм	Граничні відхилення при номінальних розмірах деталі, мм			
			до 500	500-1500	1500-2500	2500-5000
1	Кислородне	5-30	±1	±1,5	±2	±2,5
	і плазмово-дугове	30-60	±1	±1,5	±2	±2,5
	Кислородне	60-100	±1,5	±2	±2,5	±3
2	Кислородне	5-30	±2	±2,5	±3	±3,5
	і плазмово-дугове	30-60	±2,5	±3	±3,5	±4
	Кислородне	60-100	±3	±3,5	±4	±4,5
3	Кислородне	5-30	±3,5	±3,5	±4	±4,5
	і плазмово-дугове	30-60	±4	±4	±4,5	±5
	Кислородне	60-100	±4,5	±4,5	±5	±5,5

Таблиця 21.5

Максимальна товщина високолегованої сталі при різних способах різання

Способи різання	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Кислородно-флюсове
Максимальна товщина, мм	30	300	1000

Таблиця 21.6

Найбільші відхилення поверхні різа від перпендикулярності, мм (ГОСТ 14792-80)

Клас	Різання	Норми при товщині металу, мм			
		5-12	12-30	30-60	60-100
1	Кислородне	0,2	0,3	0,4	0,5
	Плазмово-дугове	0,4	0,5	0,7	-
2	Кислородне	0,5	0,7	1	1,5
	Плазмово-дугове	1	1,2	1,6	-
3	Кислородне	1	1,5	2	2,5
	Плазмово-дугове	2,3	3	4	-

Примітка. Радіус оплавленої кромки не повинен перевищувати 2 мм.

21.2. РІЗАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Різання покритими електродами ґрунтоване на розплавленні металу електричною дугою і скапуванні його вниз під власною масою. Струм вибирають на 35-40% вищим, ніж при зварюванні. При різанні необхідно забезпечити стійкість основного і електродного металу. Для цього метал розміщують горизонтально. Щоб полегшити стійкість металу виконують шлюхоподібні рухи електродом (рис. 21.1). Кут нахилу електрода до металу становить 30-60°.



Рис. 21.1. Ручне дугове різання покритим електродом

1 — розрізуваний метал, 2 — покритий електрод, 3 — таварська рукоятка електрода, 4 — виплавлений рідин метал

При різанні покритим електродом різ виходить широким, а кромки різа — з оплавленими торцями. Цей спосіб використовують для грубого (чорнового) різання сталей, чавунів і кольорових металів.

Різання покритими електродами також виконують методом ушарування. Наявність покриття призводить при різанні до підвищення стійкості горіння дуги, уповільнення плавлення стрижня електрода, ізоляції його від стінок різа і прискорення різання завдяки окисненню розплавленого металу компонентами покриття. При цьому одержують більш чистий і вузький різ.

Для різання, струтання, прошивки отворів, вирізання дефектів у швах і литві використовують спеціальні електроди марок АНР-2, АНР-3, АНР-4, ОЗР-1, ОЗР-2. При різанні цими електродами поверхня різа чиста, кромки не насичуються вуглецем, аерозолі не містять шкідливих домішок. Технічні характеристики електродів для різання наведені в табл. 21.7. Сталевими покритими електродами можна різати сталь товщиною до 15 мм.

Таблиця 21.7

Технічні характеристики електродів для різання на повітрі

Марка електрода	Умовне позначення ту	Діаметр, мм	Зарядовальний струм, А	Витрата електродів, кг/кг виплавленого металу	Продуктивність різання, кг/год
АНР-2	АНР-2-Ø 14-4-682-76	4	250-300	0,35-0,55	6
		5	320-360	0,35-0,55	10
		6	350-420	0,35-0,55	14
АНР-3	АНР-3-Ø ТУ-1ЕЗ-541-86	4	280-300	-	6
		5	300-400	-	11
		6	350-450	-	17
АНР-4	АНР-4-Ø	4	250-300	0,40-0,55	7
		5	300-360	0,40-0,55	12
		6	350-420	0,40-0,55	18
ОЗР-1	ОЗР-1-Ø ТУ14-4-351-73	3	110-170	0,6	1,3
		4	180-250	0,6	2,1
		5	250-350	0,6	2,8
		6	360-600	0,6	3,2
ОЗР-2	ОЗР-2 ТУ14-4-1395-90	3	80-100	0,6	1,1
		4	260-300	0,6	1,7
		5	420-480	0,6	2,2
		6	600-680	0,6	3,0

21.3. РІЗАННЯ НЕПЛАВКИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

При ручному дуговому різанні неплавкими електродами використовують вугільні й графітові електроди. Різання проходить за рахунок виплавлення металу із зони різання. Завдяки високій температурі нагрівання можна різати метали, які не піддаються катодному розчиненню (чавун, високолегітовані сталі, кольорові метали). Для різання використовують постійний і змінний струм максимальної потужності. Різання використовують зверху вниз, при цьому поверхню металу трохи нахилиють, щоб розплавлений метал вільно витікав із зони різання. Цей спосіб різання характеризується точністю і чистотою різання. Техніка різання подібна різанню покритими електродами. Вугільними електродами можна різати сталь товщиною до 100 мм при робочому струмі 1000 А.

21.4. ПОВІТРЯНО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

При повітряно-дуговому різанні використовують вугільні або графітові електроди та стиснене повітря. Застосовують також обдичені графітові електроди, покриті шаром міді товщиною близько 0,1 мм. Такі електроди є економічними.

При різанні метал розплавляється товщом електричної дуги, а потім видувастся стисненим повітрям із зони різа. Частина металу згорає в кисні повітря. Цей спосіб різання застосовують для роздільного і поверхневого різання чавунів, нержавіючих сталей, кольорових металів товщиною до 20 мм. Різання виконують на постійному струмі зворотної полярності, а іноді використовують змінний струм. У якості джерела живлення струму використовують зварювальні перетворювачі й трансформатори. Електроди можуть бути круглими (діаметром 6-12 мм) і пластинчастими. Різак для повітряно-дугового різання (РВДм-315, РВДл-315) бувають двох типів (табл. 21.8): із послідовним розташуванням повітряного струменя та з кільцевим розташуванням повітряного струменя відносно електрода. Тиск повітря повинен бути достатнім для видалення розплавленого металу без зниження стійкості горіння дуги і становити 0,4-0,6 МПа.

Таблиця 21.8

Технічні характеристики різаків для повітряно-дугового різання металів

Марка різака	Номинальний струм різання, А (при $\eta=100\%$)	Продуктивність для неокислювальної сталі, кг/год	Тиск стисненого повітря на виході, МПа	Витрата стисненого повітря, м ³ /год	Маса, кг
РВДм-315	Постійний	9,5	0,4-0,6	20	3,8
РВДл-315	Змінний	16,8	0,4-0,6	40-50	18,5

При роздільному різанні електрод занурюють у розрізуваний метал під кутом 45–60° до поверхні металу, а при поверхневому різанні — під кутом 35–45° (рис. 21.2). В міру обертання електрод поступово висувають із глибокого електродотримача. Натискати на електрод не рекомендується, тому що при нагріванні він стає крихким і може тріснути. Ширина канавки різь в 1–3 рази більша за діаметр електрода.



Рис. 21.2. Повітряно-дугове різання:

а — роздільне, б — поверхневе; 1 — розрізуваний метал; 2 — вугільний електрод; 3 — електродотримач; 4 — струмінь стисненого повітря; 5 — порожнина різь

Згідно ГОСТу 10720-75 використовують електроди марок ВДК (круглі, довжина 300 мм, діаметр 6 мм, 8, 10 і 12 мм) і ВДП (плоскі, довжина 350 мм, переріз 12×5 і 18×5 мм). В умовному позначенні вказують марку, діаметр або переріз, наприклад, електрод ВДП 12×5 ГОСТ 10720-75.

Різання виконують у всіх просторових положеннях. Режими повітряно-дугового різання сталей наведено в табл. 21.9.

Таблиця 21.9

Режим повітряно-дугового різання сталей

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Швидкість різання сталі, м/год	
			низьковуглецевої	нержавючої
5	6	270–300	58–62	63–65
	8	350–400	26–28	31–33
10	10	450–500	30–32	32–34
12	12	540–600	22–24	24–25
	10	450–500	10–12	12–14
20	12	540–600	12–14	14–15
	14	630–700	9–11	12–13

При повітряно-дуговому різанні повітря можна замінити киснем, який подають на розплавлений метал на відстані від дуги; вугільний електрод можна замінити металевим, для чого на загальний електродотримач кріплять кільцеву насадку, через яку до різь подається кисень.

Недоліками повітряно-дугового різання є навульцювання поверхні різь і необхідність додаткової механічної обробки.

21.5. КИСНЕВО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

Киснево-дугове різання полягає в тому, що метал розплавляється електричною дугою і згорає в струмені кисню. Утворені при цьому оксиди під впливом кисневого струменя витікають з порожнини різь. При згорянні металу в кисні утворюється додаткове тепло, яке прискорює процес різання.

Для киснево-дугового різання використовують вугільні, графітові, металеві й спеціальні плавкі трубчасті електроди з подачею річучого кисню через внутрішній отвір. Трубчасті електроди застосовують для різання профільного прокату, пакетного різання та вирізання отворів у сталевих конструкціях товщиною до 100 мм. Для різання кінці електрода впирають у розрізувану поверхню під кутом 80–85° до неї. Утворений на кінці електрода дашок із покриття забезпечує необхідну для різання довжину дуги. Режими киснево-дугового різання неплавким електродом наведено в табл. 21.10.

Таблиця 21.10

Режим киснево-дугового різання неплавким електродом

Режим різання на постійному струмі зворотної полярності

Діаметр електрода, мм	6	8	10	12
Сила струму, А	270–290	370–390	470–480	560–580

Режим різання на змінному струмі

Діаметр електрода, мм	10	12
Сила струму, А	450–500	550–600

При різанні звичайними покритими електродами до електродотримача для ручного зварювання під'єднують спеціальну підставку, за допомогою якої подається струмінь річучого кисню. Режими киснево-дугового різання низьковуглецевої сталі сталевими електродами наведено в табл. 21.11.

Таблиця 21.11

Режим киснево-дугового різання сталевими електродами

Товщина сталі, мм	5	10	30
Діаметр електрода, мм	5	4	5
Струм, А	200	160	220
Швидкість різання, мм/хв	200	320	360
Видатки кисню, дм³/м	400	100	250

За чистотою обробки киснево-дугове різання не поступається кисневому, а за продуктивністю переважає його. Киснево-дугове різання використовують для зуслецевих і легованих сталей, чавунів, кольчужних металів.

21.6. ДУГОВЕ РІЗАННЯ ПІД ФЛЮСОМ, АРГОНОДУГОВЕ І РІЗАННЯ СТАЛЕВИМ ДИСКОМ

Дугове різання можна виконувати дугою, яка горить під флюсом. Високу якість забезпечує автоматичне дугове різання дротом марки Св-08 під флюсом марки АН-348. При використанні дроту діаметром 4 мм, напрузі дуги 42–44 В і струмі 1200 А ріжуть сталь товщиною 20 мм із швидкістю 30 м/год. Цей спосіб застосовують для різання труб при зварюванні їх на спеціальному трубозварювальному стенді спіральним швом.

Аргонодугове різання неплавким електродом доцільно використовувати для обробки листів товщиною до 5 мм із алюмінію, міді та їх сплавів, нержавіючих сталей та інших металів.

Дугове різання обертовим сталевим диском здійснюється таким чином. До сталевому диску і розрізуваному металу підводять електричний струм. При дотику обертового диска з металом виникає дуга, яка оплавляє метал і викидає його в місця різь. Використовують сталеві диски діаметром до 500 мм і товщиною 4–6 мм.

Диск крутиться із швидкістю 40 м/с. Для охолодження диска застосовують стиснене повітря (до 0,5 МПа). Зона термічного впливу на кромках розрізуваного металу становить майже 1 мм. Спрацювання робочої кромки сталевому диску електроду не перевищує 2% від маси випаленого металу. При використанні дисків, армованих вставками із стійкого сплаву, спрацювання зменшується до 20 разів. Джерелом живлення може бути будь-який знижувальний трансформатор потужністю до 30 кВт з напругою холостого ходу 10–30 В. Продуктивність різання пропорційна потужності джерела живлення.

21.7. ПЛАЗМОВО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

Плазмова дуга може бути подібною зварювальній дузі прямої і непрямої дії. У першому випадку одним з електродів є оброблюваний метал (рис. 21.3 б), а в іншому – дуга збуджується між незалежними від металу електродними (рис. 21.3 а). Дугу прямої дії виводять плазмовою, непрямої – плазмовим струменем. Для роздільного різання металів доцільно використовувати плазмову дугу, яка має вищою к.к.д., а плазмовий різак менше піддається спрацюванню.

Плазмово-дугове різання застосовують при обробці металів, які не піддаються кінцевому різанню: високолеговані сталі, алюміній, титан, мідь і їх сплави. Плазмовим струменем ріжуть тонкі метали.

Плазмово-дугове різання полягає в проплавленні металу на вузькій ділянці по лінії різь і видаленні розплавленого металу струменем плазми, утвореною у дузі. Дуга збуджується між металом і вольфрамовим електродом, розташованим у головці різька. При

різанні плазмовим струменем метал не амтється в електричне коло дуги, яка горить між кінцем вольфрамового електроду і внутрішньою стінкою охолоджуваною водою наконечника різька. Живлення дуги виконують від джерела постійного струму, «мінус» підводиться до вольфрамового електроду, а «плюс» до мідної насадки, охолоджуваною водою. У якості плазмоутворюючих газів і для захисту вольфрамового електроду застосовують аргон, азот, суміші аргону з азотом, воднем і повітрям, стиснене повітря.

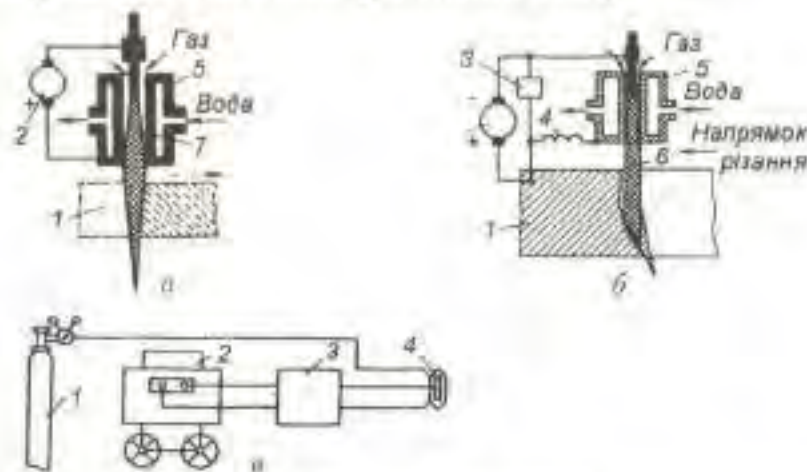


Рис. 21.3. Схема плазмового різання:

а – плазмовим струменем; б – плазмовою дугою; 1 – розрізуваний метал; 2 – джерело живлення; 3 – осцилятор; 4 – реостат, який регулює доломітку дуги; 5 – вольфрамовий електрод; 6 – плазмова дуга; 7 – плазмовий струмінь; 8 – плазмова установка; 1 – балон з газом; 2 – джерело живлення; 3 – баластний реостат; 4 – плазмотрон.

До комплексу обладнання для плазмово-дугового різання входять: різак (плазмотрон), пульт керування, джерело живлення дуги, балони з плазмоутворюючими газами, механізм для переміщення плазмотрона вздовж лінії різь (рис. 21.3 в).

Різак складається з електродного та соплового вузлів. Плазмотрони бувають з осьовою і вихровою подачею газів для стискання дуги. Осьова подача плазмоутворюючого газу використовується в широкій соплі. При вихровій подачі газ вводить у зону катода і анода дуги по каналах, розташованих по дотичній до стінок дугової камери плазмотрона. При цьому в камері створюється вихровий потік газу із спіральним рухом. Вихрова подача газу забезпечує його перемішування в стовпі дуги й рівномірність газової оболонки навколо стовпа.

При осьовій подачі газу кінець вольфрамового електроду діаметром від 2 до 6 мм і довжиною до 100–150 мм загострюють під кутом 20–30°, а при вихровій подачі газу – на кінці електроду є змінні газові катоди.

Для охолодження плазмотрона використовують воду, а в плазмотронах невеликої потужності — стиснене повітря. Використовують також річкові плазмотрони з титановими катодами. Здатність утворювати плівку на катоді мають цирконій і гафній. Такий катод може тривалий час працювати в окиснювальному середовищі, наприклад, у стисненому повітрі.

Інтенсивність спрацювання катодних вставок та електродів залежить від сили робочого струму. Тривалість роботи катода не перевищує 4–6 год. Велике значення має конструкція сопла. Чим менший діаметр сопла і більша його довжина, тим вища концентрація енергії. Але діаметр і довжина сопла зумовлені силою робочого струму і витратами газів. Якщо діаметр сопла дуже малий або довжина його дуже велика, то можливе виникнення подвійної дуги, при якій різна дуга розпадається на дві частини. Одна дуга горить між катодом і внутрішньою поверхнюю сопла, а друга — між зовнішньою поверхнею сопла і розрізуваним металом. Подвійна дуга може горіти одночасно з ріжучою (не тривалий час) поза зоною захисного газу від чого метал кромки забруднюється і підкалюється. Щоб уникнути подвійної дуги необхідно плавно збільшити робочий струм. Це досягається магнетронами, тиристорними та іншими пристроями.

Для плазмово-дугового різання використовують джерела живлення дуги постійного струму з кругосладовими вольт-амперними характеристиками. Для різання металів великої товщини (понад 80 мм) використовують тільки спеціальні джерела живлення з підвищеною напругою холостого ходу. Апаратура для плазмово-дугового різання повинна відповідати ГОСТу 12221-71: ПЛр — для ручного різання; ПЛм — для ручного і машинного різання; ПЛмт — для машинного тискового різання. Технічні дані апаратів для плазмово-дугового різання наведено в табл. 21.12.

Таблиця 21.12

Технічні дані апаратів плазмово-дугового різання

Тип апарата	Максимальна товщина металу, мм	Максимальна сила струму, А	Робочий газ	Напруга холостого ходу, В	Швидкість різання, м/год	Охолодження
ПЛр-10/100	10	100	Повітря	220		Водяне
ПЛр-20/250	20	250	Аргон, азот, водень	90	1,0	Повітряне
ПЛр-50/250	50	250	Аргон, азот, водень	180	1,0	Повітряне
ПЛм-60/300	60	300	Повітря	300	4,0	Водяне
ПЛмт-50/400	50	400	Повітря та ін.	400		Водяне

Початок різання визначається моментом збудження ріжучої дуги. Відстань від горця наконечника до поверхні розрізаного металу повинна бути в межах 3–10 мм. При різанні вуглецевих сталей

товщиною до 40–50 мм використовують стиснене повітря, для нержавіючих сталей товщиною до 20 мм — чистий азот, більше 20 мм і до 50 мм — суміш із 50% азоту і 50% водню. Різання алюмінію товщиною 5–20 мм виконують в азоті, а товщиною 20–150 мм — у суміші з 65% азоту і 35% водню або 68% азоту і 32% водню. При збільшенні кількості водню поверхня різа насичується ним. Для ручного різання вміст водню зменшують до 20%, що забезпечує стійкість горіння дуги при зміні її довжини. При зварюванні міді використовують аргон-водневу суміш, азот або повітря, а потужність дуги збільшують через високу теплопровідність міді. Швидкість різання латуні збільшують на 20–25% порівняно з різанням міді. При цьому використовують ті ж гази, що й для різання міді.

Режими плазмового різання металів вказані в табл. 21.13 і 21.14.

Таблиця 21.13

Параметри режиму плазмового різання вуглецевих, легированих сталей і міді у середовищі повітря з водою

Товщина металу, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість різання, м/год
4	270–290	140–145	425–450
6	270–290	140–145	180–210
8	270–290	140–145	100–180
10	270–290	140–145	130–150
12	270–290	140–145	110–130
14	270–290	150–155	97–110
16	270–290	155–160	85–97
18	270–290	160–165	70–85
20	290–310	165–170	60–72
24	290–310	170–175	45–60
30	290–310	180–185	36–42

Таблиця 21.14

Режими механізованого мікроплазмового різання металів

Товщина металу, мм	Шириня розрізу, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Витрата робочого газу, л/хв		Швидкість різання, м/год
					азот	стиснене повітря	
<i>Низьковуглецева сталь</i>							
1–3	1–1,5	0,8	30	130	—	10	180–300
3–5	1,6–1,8	1	50	110	—	12	120–180
5–7	1,8–2	1	75	110	—	15	90–120
7–10	2–2,5	1	100	110	—	15	60–90
<i>Користійківа сталь</i>							
0,7	1,5	1	20	120	3,5	—	55
2	0,9	1	20	120	2,5	—	55
3	0,9	1	20	120	2,5	—	42

21.7.1. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу

Розроблені сучасні установки для плазмового різання, в яких замість азоту і повітря використовують водонепровідну воду. Вода подається між ріжучим соплом для захисного газу і потрадає в дугу у вигляді аерозольного туману, а потім під впливом електричного струму і високої температури розкладається на водень і кисень (рис. 21.4). Водень діє як відновний газ, який запобігає окисненню поверхні різа. Таким чином одержують чисту, без подальшої обробки поверхню кромки від заварювання.

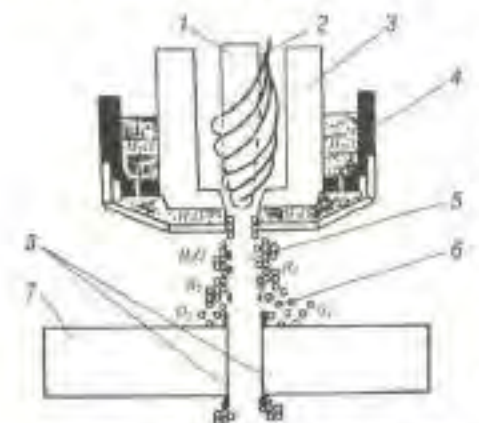


Рис. 21.4. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу.

1 — плазмодний електрод; 2 — плазмотворюючий газ (азот); 3 — ріжуче сопло; 4 — сопло захисного газу; 5 — плазмотворюючий газ плазми; 6 — вода в якості захисного газу; 7 — деталь; 8 — чисті зварювані поверхні.

Накопичення такої плазмової установки просте, тому що швидкість різання і відстань від ріжучого сопла до виробу встановити легше, ніж в апаратах для різання в захисних газах. Новий спосіб рекомендують використовувати для різання високоякісної сталі та алюмінію товщиною від 3 до 30 мм. Перевагою є висока економічність і екологічна чистота. Основні параметри плазмового різання залежно від захисного середовища плазмової дуги наведено в табл. 21.15, режими лазерного різання матеріалів — в табл. 21.16.

Таблиця 21.15

Параметри плазмового різання залежно від захисного середовища плазмової дуги

Захисне середовище	Витрати захисного середовища, л/год	Плазмотворюючий газ	Витрати плазмотворюючого газу, л/год	Товщина різки, мм	Струм, А	Швидкість різання, м/хв
Азот	4860	Ar+N	2160	12	150	1,02
Азот	6750	Ar+N	3510	19	300	1,02
Вода	30	N	1970	12	150	1,27
Вода	30	N	3510	19	300	1,27

Режими лазерного різання матеріалів

Матеріал	Потужність, кВт						
	0,2			0,85			
	товщина, мм	ширина розрізу, мм	взаємний газ	швидкість різання, м/год	товщина, мм	взаємний газ	швидкість різання, м/год
Вуглецева сталь	1	0,1	O ₂	180	2,2	O ₂	105
	3	0,2	O ₂	30	3,2	O ₂	105
Кордзистійка сталь	1	0,1	O ₂	90	9	O ₂	22
	1	0,1	O ₂	90	5	O ₂	45
	1	0,1	O ₂	90	3	O ₂	45
Сплав титану	2	0,2	O ₂	1080	5	O ₂	200
	10	1,5	O ₂	170	5	O ₂	200
	40	3,5	O ₂	30	5	O ₂	200
Органічне скло	3	0,4	N ₂	270	32	Ar	18
	10	0,7	N ₂	30	32	Ar	18
Дерево	18	0,7	N ₂	12	5	Ar	220
	18	0,7	N ₂	12	14	Ar	90
Кераміка	—	—	—	—	6,5	Ar	40

21.8. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ

Електронно-променеве свердління отворів ширше було застосоване в 1938 р. М. фон Ардене (Німеччина). З 1960 р. почалося широке промислове використання установок для електронно-променевого свердління. Такі установки складаються з електронної гармати і джерела живлення, вакуумної камери (де й здійснюється свердління), системи відкачування повітря із камери, а також системи спостереження та керування.

Свердління отворів електронним променем є імпульсним, динамічним процесом. Утворення отворів проходить за рахунок інтенсивного кипіння металу, розплавленого електронним променем, і викидання розплавленого металу реакцією віддачі при випаровуванні.

Електронний промінь повинен мати різку окреслену форму і діаметр 0,01–0,2 мм при напрузі 60–150 кВ (густина потужності 10^7 – 10^9 Вт/см²).

Існує два режими свердління отворів:

- моноімпульсний — отвір утворюється за один імпульс струму електронного променя (свердлить сталь товщиною 0,1–10 мм);
- багатоімпульсний — отвір утворюється за два і більше імпульсів (свердлить отвори в сталях товщиною до 50 мм).

Електронним променем свердлять отвори діаметром від 0,02 до 1,5 мм. Тривалість імпульсу вибирають у діапазоні 0,1–5 мс. Частота свердління становить 4–3000 Гц. Тонкі пластини (0,05–0,5 мм) свердлять із швидкістю 1500–3000 отворів за 1 с. Сталь товщиною 3 і 5 мм просвердлюють зі швидкістю відповідно 120 і 20 отворів за 1 с при діаметрі отворів 0,3 і 0,7 мм. Точність виконання отворів досягає $\pm 0,0025$ мм.

Електронним променем можна свердлити отвори в металах, кераміці, склі, пластмасі, кварці, сапфірах та ін. Продуктивність електронно-променевого свердління більше ніж у 10 разів перевищує продуктивність свердління лазерним променем.

21.9. ДУГОВЕ ПІДВОДНЕ РІЗАННЯ

На відміну від різання на повітрі при підводному різанні метал інтенсивно охолоджується водою, водозапіне спорядження сковує рухи різальника, обмежена видимість. Для підводного різання застосовують електро-дугове різання плавкими покритими електродами (табл. 21.17), напівавтоматичне електро-кисневе тонким плавким електродом, плазмово-дугове, вибухом та ін.

Таблиця 21.17

Електроди для різання під водою

Марка електрода	Умовне позначення згідно з ГОСТом 9466-75 і ГОСТом 9467-75	Діаметр, мм	Зварювальний струм, А	Примітка
АНДР-1 (дослідний)	АНДР-1-0	4	300–330	Для підводного різання металу товщиною до 20 мм на глибини до 30 м у всіх просторових положеннях у прісній та морській воді.
		5	430–500	
ЭПС-АН-1 (дослідний)	ЭПС-АН-1-0-УД Е416-Р20	3	110–140	Різання як під водою, так і в зоні змінного змочування. Електрод має шарнізно-ізоляційне покриття
		4	160–200	
		5	180–220	

При електродуговому різанні необхідно весь струмінь від надійно ізолювати. Найчастіше різання виконують металевими плавкими електродами, які виготовляють з низьковуглецевих сталей діаметром 6–7 мм довжиною 350–400 мм, з покриттям товщиною 2 мм. Для захисту від води покриття навичені парафіном, целулоїдним лаком або іншими вологостійкими матеріалами. Використовують постійний струм прямої полярності на 10–20% більшої порівняно з різанням на повітрі. Різання виконують методом упирання.

Електро-кисневе різання виконують спеціальними трубчастими електродами діаметром 7 мм і товщиною стіни 2,5 мм, покритими товстим шаром водонепроникної речовини (рис. 21.5).

У трубку за допомогою спеціального тримача від балона по шлангу подається кисень під тиском 0,15–0,35 МПа. Дуга нагріває метал, а кисень окислює його як при звичайному кисневому різанні. Після вмикання струму над поверхнею води, різальник натискає важіль кисневого клапана, збуджує дугу і починає переміщення електрода вдовж лінії різу. Цим способом можна різати метал товщиною до 300 мм.

Можна використовувати пугільні й графітові електроди з осьовим каналом, у який вставляють мідну або кварцеву трубку. Для збільшення електропровідності та підвищення механічної міцності стрижні електродів покривають металевим оболонком, на яку наносять водонепроникне покриття. Недоліком таких електродів є великий діаметр (15–18 мм). Використовують також карборундові електроди із сталевим оболонкою і водонепроникним покриттям. Електро-кисневе різання виконують на глибини до 100 м на постійному струмі прямої полярності.

Напівавтоматичне електро-кисневе різання тонким дротом виконують напівавтоматом ППСР-300-2. Дуга горить у захисному газі, який подається через спеціальний шланг разом із дротом. Кисень подається по окремому шлангу. Швидкість різання при товщині металу 10 мм і силі струму 270–280 А становить 11 м/год, для товщини металу 25 мм і силі струму 300 А — 2,5–2,8 м/год. Продуктивність напівавтоматичного електро-кисневого різання значно вища ручного, що важливо при різанні на великих глибинах.

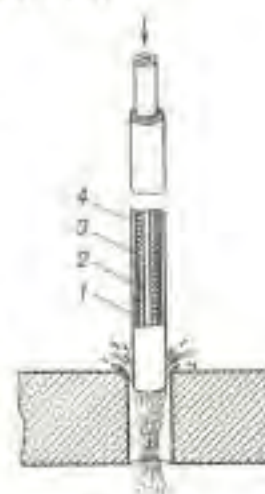


Рис. 21.5. Підводне електро-киснево-дугове різання:

- 1 — канал для підведення кисню;
- 2 — сталевий трубчастий стрижень;
- 3 — електродне покриття;
- 4 — ізоляція.

ЯКІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ. ЗВАРНІ ДЕФЕКТИ. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Для різання під водою вибухом використовують різак, які працюють зі допомогою порохових патронів. Різакни вибухом застосовують для різання дроту, кабелів, жорстких ланцюгів тощо. Установку оснащують кумулятивним (направленим) вибуховим зарядом, запалювальним шнуром, детонатором, електричним кабелем, захисною огорожевою матеріалів, які розташовані біля місця різа.

Уданий час для різання під водою використовують плазмове різання. Продуктивність плазмового різання залежить від виду різанок, прозорості води, досвіду зварника та ін. Техніка плазмового різання дозволяє виконувати роботи на глибині до 150 м і різати метал товщиною до 150 мм.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть способи дугового різання?
2. Які особливості різання покритими електродами?
3. Наведіть марку покритих електродів для різання вуглець.
4. Як виконують повітряно-дугове різання?
5. В чому полягає суття плазмово-дугового різання?
6. Вкажіть особливості плазмового різання.
7. Як виконують підводне дугове різання?
8. Охарактеризуйте термін «термічне різання».
9. У чому суття різання плазмовим?
10. Назвіть способи різання металів.
11. Назвіть способи різання шнуром і кольорових металів.
12. Яка допустима порожнеча поверхні різа при кінцевому і плазмово-дуговому різанні?
13. Як виконують різання неплавкими електродами?
14. Як електроди використовують для повітряно-дугового різання?
15. Охарактеризуйте різак для повітряно-дугового різання.
16. Назвіть режими повітряно-дугового різання сталей.
17. Назвіть режими кінцево-дугового різання неплавкими і сталевими електродами.
18. Як виконують різання обертовим сталевим диском?
19. Що входить до комплексу обладнання для плазмово-дугового різання?
20. Назвіть особливості плазмового різання із застосуванням води.

22.1. ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, які зумовлюють їх придатність задовільняти визначені потреби відповідно до її призначення.

Показники якості зварних з'єднань характеризуються такими властивостями: міцністю, надійністю, відсутністю дефектів, структурою металу шва і більшою частині зони, корозійною стійкістю, кількістю і характером виправлень (рис. 22.1).



Рис. 22.1. Фактори, які впливають на якість зварних з'єднань

Згідно з прийнятою термінологією під надійністю розуміють здатність виробів виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих границях протікання певного проміжку часу згідно вимог. Це визначення відноситься до експлуатаційної надійності конструкцій.

Управління якістю зварювання повинно передбачати контроль усіх факторів, від яких залежить якість продукції. На якість зварних з'єднань, які одержують при зварюванні, впливають багато факторів. Основні з них можна умовно згрупувати як технологічні й конструктивні (рис. 22.1).

Оптимальна схема контролю в зварювальному виробництві:

1. Контроль документації на етапі проекту – вибір конструкцій й технології складання-зварювання; вибір основного металу, обґрунтування норм допустимих дефектів і плану контролю; вибір методів контролю і забезпечення дефектоскопії конструкцій;

2. Контроль технологічної підготовки виробництва – перевірка умов і якості підготовки до зварювання, складання, перевірка підготовки і зберігання вихідних матеріалів, дисципліни зварників;

3. Контроль готової продукції – раціональне використання існуючих методів і засобів контролю;

4. Перевірка якості контрольних операцій – перевірка дотримання режимів і чутливості дефектоскопії, контроль дефектоскопічних матеріалів, кваліфікації оператора.

22.1.1. Типи і види дефектів

Дефект – це кожна окрема невідповідність продукції вимогам, установленим нормативною документацією. У зварювальному виробництві прийнято розділяти дефекти підготовки та складання виробів під зварювання й зварювальні дефекти. Останні можуть бути зовнішніми (дефекти форми швів), поверхневими і внутрішніми. Внутрішні – це дефекти невідповідності (макроскопічні дефекти), або дефекти структури.

22.2. ДЕФЕКТИ ПІДГОТОВКИ ТА СКЛАДАННЯ

Найхарактернішими дефектами при підготовці та складанні зварних виробів є: неправильний кут різку кромки у швах з V-, U- і X-подібною розробкою; дуже велике чи мале притущення по довжині кромки, що стикаються; нерівномірний зазор між кромками, несвідомі площини кромки, які стикаються; розшарування і забруднення на кромках і т. д.

Причинами цих дефектів можуть бути несправності верстатів для виготовлення заготовок і пристосувань для збирання; неякісні вихідні матеріали, помилка в кресленнях, а також низька кваліфікація зварника. Правильність складання контролюють зовнішнім оглядом і вимірюванням за допомогою шаблонів та інструментів.

22.3. КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ЗА ТИПАМИ Й ВИДАМИ

Всеохоплюючу класифікацію зварних дефектів виконують за їх типами, що пов'язані з геометричними ознаками і масовістю (рис. 22.2).

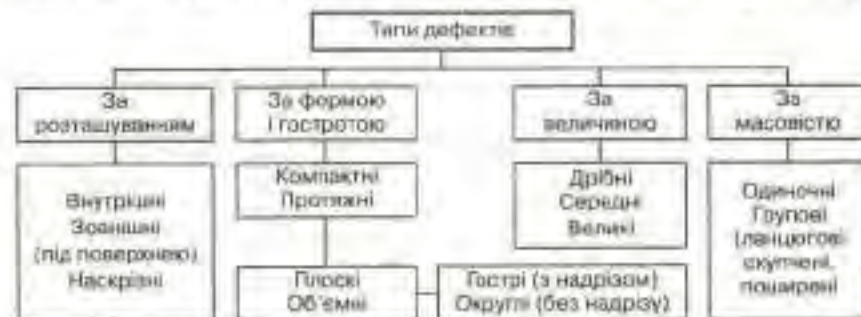


Рис. 22.2. Типи дефектів

22.4. ЗОВНІШНІ ДЕФЕКТИ

Форма та розміри швів залежать від товщини матеріалу, який зварюється. Їх задають технічними умовами і вказують на кресленнях. При зварюванні плавленням як правило регламентують: ширину шва l , висоту посилення шва h проплавлення h_f (рис. 22.3 а).



Рис. 22.3. Конструктивні схеми швів: а – стикового; б – кутового

Для таврових і напусткових з'єднань регламентують катет шва k , висоту робочого сечення h (рис. 22.3 б). Шви можуть мати нерівномірну ширину за довжиною, нерівномірну висоту, наплав, підрізи-сідловини, нерівномірну величину катетів у куткових швах і з'єднаннях.

Дефекти форми швів виважають атака відхилення від технології при автоматичному зварюванні (порушення швидкості подачі дроту, швидкості зварювання) та низькій кваліфікації зварювача при ручному зварюванні.

Неправильна форма швів, особливо надмірне посилення, різкі переходи від шва до основного металу та інші можуть суттєво знижувати працездатність з'єднань, особливо при динамічних чи вібраційних навантаженнях, а також у крихких матеріалах.

Деякі зовнішні дефекти також розглядають як поверхневі нещільності швів (особливо характерно для внутрішніх дефектів). До них відносяться підрізи, незварені кратери, горбистість, пропали, свищі тощо.

Підрізи – дефекти зварного з'єднання, місцеве зменшення товщини основного металу у вигляді канавок, які розташовуються уздовж межі зварного шва (рис. 22.4 а). Підрізи відносять до зварних дефектів, які дуже часто зустрічаються при зварюванні кутових швів з високою напругою дуги і у випадку неточного ведення електрода. Одна з кромek проплавляється глибше, метал стікає на горизонтально розташовану деталь і його не вистачає для заповнення канавки.

У стикових швах підрізи утворюються рідше. Часто при підвищеній напрузі дуги і великій швидкості зварювання утворюються двобічні підрізи. Такі підрізи утворюються й у випадку збільшення кута розробки при автоматичному зварюванні.

Однобічні підрізи можуть спричинювати зміщення електрода з осі стику і неправильне ведення електрода, особливо при зварюванні горизонтальних швів на вертикальній площині.



Рис. 22.4. Дефекти зварних швів:
а – підріз б – напил

Напливи – дефекти зварного з'єднання, які утворюються при протіканні металу шва на основний метал, але з ним не сплавується (рис. 22.4 б). Напливи можуть утворитися через недостатність напруги дуги, наявності на зварних кромках товстого шару окисливи, лишньої кількості присадкового матеріалу. В кільцевих поворотних стикових швах повна напливи швидко усувається исправльним розташуванням електрода відносно землі. Напливи можуть мати велику довжину або бути протіканнями.

Пропади – дефекти зварювання, які проявляються витіканням металу зварної ванни через отвір у шві з утворенням у ньому порожнини (рис. 22.5).

Причиною виникнення пропалу може бути велика сила зварювального струму, збільшення зазору між кромками, недостатня товщина підкладної стрічки або її нецільне прикріплення. При зварюванні поворотних кільцевих швів поява пропалів сприяє зміщенню електрода від землі у бік обертання виробу. Це викликає стиснення рідкого металу з-під кінця електрода, виникає більш активна пропалювача для дуги. Дефектні місця повинні бути виділені й зварені заново.



Рис. 22.5
Пропал

Кратери – дефекти зварних швів у вигляді заглиблень, які заглиблюються в місцях обриву дуги (рис. 22.6).



Рис. 22.6.
Незварений кратер

Усадочні крихкості в кратерах часто є причиною утворення тріщин. Тому дефектні місця повинні бути зачищені та зварені. У випадках механізованих видів зварювання застосовують вивідні планки, на яких закінчують шви. Потім планки з кінцями швів і кратерами на них видаляють. В електричних схемах автоматів передбачують такі елементи, які забезпечують

можливість автоматичного зварювання кратера.

Свищі – дефекти у вигляді порожнин у зварних швах, які виходять на їх поверхню (рис. 22.7).

Свищі, як правило, розвиваються з каналних пор. Значна кількість поверхневих дефектів сигналізує також про наявність внутрішніх дефектів.



Рис. 22.7. Свищ

22.5. ВНУТРІШНІ ДЕФЕКТИ

Утворення внутрішніх дефектів при зварюванні пов'язано з металургійними, термічними та гідродинамічними явищами, які проходять при формуванні зварного шва.

До внутрішніх дефектів відносяться тріщини (гарачі й холодні), неспровари, пори, шлакові, вольфрамові та оксидні включення.

Тріщини – дефекти зварних швів, макроскопічні й мікроскопічні руйнування, порожнини, які утворилися з дуже малим початковим розміром. Під дією залишкових і робочих напружень тріщини можуть поширюватися з дуже великою швидкістю. Тому виключені ними крихіті руйнування проходять майже миттєво й дуже небезпечні.

Залежно від температури, при якій вони виникають, розрізняють гарячі та холодні тріщини.

Гарячі тріщини — це руйнування металу, який кристалізується і проходить по рідких прошарках під дією напружень розтягу (рис. 22.8). Ці напруження проявляються внаслідок примусової усадки металу шва і нерівномірного нагрівання ділянок основного металу, який прилягає до нього.



Рис. 22.8. Подовжнє гаряча тріщина

Утворення гарячих тріщин пов'язане із спільною дією двох факторів. По мірі кристалізації скорочується кількість рідкої фази, що призводить до зменшення деформаційної властивості сплаву. Крім того в температурному інтервалі крихкості пластичні властивості сплаву найнижчі.

Кристалізаційні тріщини утворюються, якщо пластична деформація за час перебування металу в температурному інтервалі крихкості пройде в ньому пластичність сплаву. Для гарячих тріщин характерним є мікрокристалізаційний вид руйнування, який розвивається по межах зерен при наявності між ними рідкого прошарку, або ж за рахунок проковзування між зернами, яке проходить при підвищених температурах після закінчення процесу кристалізації.

Гарячі тріщини можуть виникнути як в основному, так і в металі зони термічного впливу. Вони бувають подовжніми, поперечними, подовжніми з поперечними розгалуженнями, можуть виходити на поверхню або залишатися схованими. Можливість утворення гарячих тріщин залежить від хімічного складу металу шва, швидкості наростання та величини напруження розтягу, форми зварювальної ванни й шва, розміру первинних кристалітів. Вона збільшується з підвищенням у металі шва вуглецю, кремнію, нікелю, шкідливих домішок сірки та фосфору. Стійкість зварних швів проти утворення гарячих тріщин підвищують марганець, хром, частково кисень, а також зниження величини і швидкості наростання розтягуючих зусиль. Останнє досягається зменшенням жорсткості вузлів,



Рис. 22.9. Вплив коефіцієнта форми шва $v = \frac{h}{b}$ і вмісту вуглецю C на можливість утворення тріщин

застосуванням способу зварювання з порошкоподібним присаджувальним матеріалом, використанням спеціальних технологічних прийомів (поперечний підігрів тощо). Вплив коефіцієнта форми шва на вірогідність утворення тріщин не однозначне (рис. 22.9). При значенні коефіцієнта форми шва менше 1,8 і більше 10 опірність виникнення гарячих тріщин зменшується навіть при відносно невеликому вмісті вуглецю.

Холодні тріщини найчастіше утворюються в зоні термічного впливу, рідше в металі шва зварних з'єднань середньо- і високоалюмінієвих сталей перлітного і мартенситного класів (рис. 22.10).

Поява холодних тріщин пояснюється дією комплексу причин. Одна з них — це вплив високих внутрішніх напружень. Вони виникають у зв'язку з об'ємним ефектом, який сприяє мартенситному перетворенню, що проходить в умовах зниження пластичності металу. Тому холодні тріщини виникають як при температурах розпаду залишкового аустеніту (120°C і нижче), так і при кімнатній температурі через декілька хвилин, а часом і через більшу тривалий термін після закінчення зварювання. Високі внутрішні напруження можуть також розвиватися внаслідок адсорбції розчиненого в металі водню на поверхнях внутрішніх дефектів і накопичення його в мікронащільностях. Вважають також, що холодні тріщини виникають при слов'явському руйнуванні металу під дією напружень, які накопичуються на межах зерен. Ці напруження є перпендикулярними напрямку дії нормальних напружень.

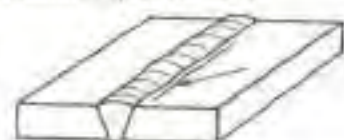


Рис. 22.10. Холодні тріщини в біляшовній зоні

Непровари — це ділянки зварного з'єднання, де відсутнє сплавлення між зварюваними деталями, наприклад у корені шва, між основним і наплавленим металом (по кромі), або між суміжними шарами наплавленості металу (рис. 22.11).

Поверхні непровару покриті тонкими оксидними шліками та іншими забрудненнями. Дуже часто пустоти, утворені непроварами заповнюються шлаком. Закінчення непроварів у металі шва або на межі сплавлення, як правило, мають дуже мале розкриття. Непровари зменшують робочий переріз зварного шва, що може призвести до зниження працездатності зварного з'єднання. Будучи концентраторами напружень, непровари можуть викликати появу тріщин, зменшити корозійну стійкість зварного з'єднання та призвести до корозійного розтріскування.

Непровари можуть бути викликані багатьма причинами: малим кутом розкриття кромок, малим азотом, великим приступленням при недостатній силі струму, великою швидкістю зварювання, зменшенням електродної відосі шва, особливо при зварюванні двобічним

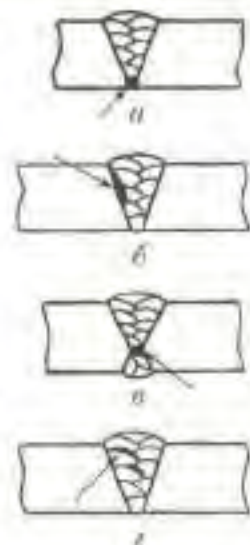


Рис. 22.11. Непровари:

а — в корені зовнішнього стиглового шва; б — по кромці між основним і наплавленим металом; в — у корені двобічного шва; г — між шарами.

шва, недостатнім очищенням шваку перед накладанням наступних шарів, порожкоподібним матеріалом при зменшенні сили струму і великій швидкості зварювання; низькій кислотності шварника.

Петрошари є дуже небезпечними дефектами зварювання.

Пори – це порожнини в металі шва, заповнені газами. Вони мають сферичну або близьку до неї форму. В зварних швах вуглецевих сталей пори часто мають трубчасту форму. Повертово, виникаючи в рідкому металі за рахунок інтенсивного газоутворення, деякі бульбашки газу встигають підійнятися на поверхню і вийти в атмосферу. Частина з них залишається в металі шва. Розміри таких пор коливаються від мікроскопічних до 2–3 мм у діаметрі і за рахунок дифузії газів (у першу чергу водню) можуть рости. Утворюються раковини (порожнини неправильної форми і більших, ніж пори розмірів), а також саниці, що виходять на поверхню. Крім лужних пор, викликаних деякими вищказаними факторами, у зварних швах можуть появлятися пори, які рівномірно розподілюються по всьому перерізу шва, розташовуються у вигляді ланцюжків або окремих скупчень (рис. 22.12).

До основних причин, які викликають появу пор відносяться: погане очищення зварних кромок від іржі, масла та інших забруднень, підвищений вміст вуглецю в основному або присадковому матеріалі, велика швидкість зварювання, при якій не встигає пройти газовідведення і пори залишаються в металі шва, велика вологість електродних покриттів, флюсу, зварювання при несприятливих погодних умовах.

Шлакові включення – це порожнини в металі зварного шва, заповнені шлаком, які не встигли вийти на поверхню шва (рис. 22.13).

Шлакові включення утворюються при великій швидкості зварювання, при сильних забрудненнях кромок і при багатопаровому зварюванні у випадку поганого очищення від шлаку поверхні швів між шарами. Розміри шлакових включень можуть досягати декількох міліметрів у поперечному перерізі, десяти і більше міліметрів за довжиною. Форма шлакових включень може бути дуже різноманітною, внаслідок чого вони є небезпечнішими дефектами, ніж круглі пори.

Вольфрамові включення можуть появлятися в металі зварного шва при аргонодуговому зварюванні несплавленим електродом (наприклад, алюмінієвих сплавів), у яких вольфрам не розчиняється.



Рис. 22.12. Пори



Рис. 22.13. Шлакові включення

Частички вольфраму, які потрапляють внаслідок нестабільності режиму в розплавлену зварювальну ванну, звичайно занурюються в неї через велику щільність. На рентгенівських знімках вольфрамові включення виглядають як ізольовані або групові явні світлі плями неправильної форми.

Оксидні включення можуть виникати в металі зварних швів при наявності труднорозчинних оксидів, наприклад Al_2O_3 при великих швидкостях кристалізації шва. Розташовуючись у вигляді плівок, вони утворюють у металі шва щільності з малим розкриттям і їх незадовільний вплив на механічні властивості зварних швів може бути суттєвим, ніж пори шлакових включень.

22.6. ВИДИ КОНТРОЛЮ

Залежно від характеру дії на матеріал зразка або виробу всі різноманітні методи контролю якості зварних з'єднань можуть бути поділені на дві основні групи: методи контролю без руйнування зразків або виробів – неруйнівний контроль і методи контролю з руйнуванням зразків або виробничих стусів – руйнівний контроль. Всі види неруйнівного контролю класифікуються за наступними основними ознаками:

- за характером фізичних полів або випромінювань;
- за характером взаємодії фізичних полів або речовин з контрольованим об'єктом;
- за первинними інформаційними параметрами, розглянутих методів контролю;
- за способами індукації первинної інформації;
- за способом представлення кінцевої інформації.

Всі методи неруйнівного контролю поділяються згідно зі стандартом на наступні види: акустичний, капілярний, магнітний, оптичний, радіаційний, радіохвильовий, тепловий, електричний, електромагнітний (вихрові струми), течошукач.

До неруйнівних видів контролю слід віднести і контроль зовнішнім оглядом та обміриванням, який має суттєве значення для одержання якісних зварних конструкцій.

До руйнівних видів контролю відноситься механічна випробування зварних з'єднань. Для оцінки механічних властивостей зварних з'єднань підлягають різним випробуванням. Механічні випробування зварних з'єднань застосовують у тих випадках, коли потрібно визначити якість зварювальних матеріалів, розробити оптимальні технологічні режими (особливо при зварюванні сплавів), і при перевірці кваліфікації зварників, чи при їх переатестації.

22.7. КОНТРОЛЬ ЗОВНІШНІМ ОГЛЯДОМ ТА ОБМІРОМ

22.7.1. Контроль вихідних матеріалів, складання та процес зварювання

Частина дефектів зварних швів виникає в результаті застосування недостатньо якісних вихідних матеріалів (основних і зварювальних), порушення вимог щодо складання під зварювання, технологію його виконання. Запобігти появі таких дефектів допомагає попередній і поопераційний контроль, який виконується методом зовнішнього огляду і перевіркою відповідності розмірів.

До вихідних матеріалів належить і основний метал, з якого збирають конструкції, зварювальні електроди, дроти, флюс і захисні гази.

У литих виробках металовиробки перевіряють наявність сертифікату, заводського маркування і відповідність їх проекту. Зовнішнім оглядом установлюють наявність раковин, розшарувань, тріщин, у грубі — якість скошу кромки, у заготовках із спецсталей — відповідність хімічного складу і механічним властивостям.

Зварювальні електроди піддають зовнішньому огляду з метою виявлення механічних пошкоджень покриття, відсутності корозійних стрижнів під ним, а також визначення товщини шкеленого покриття.

Покриття електродів діаметром до 4 мм і більше не повинне рубинуватися при впливі нападінні електрода на гладку сталеву плиту з висоти 1 м і 0,5 м відповідно. Можуть допускатися часткові відколи покриття до 5% довжини шкеленої частини електрода. Придатність електродів установлюють за результатами технологічної проби. При цьому визначають характер плавлення електродного стрижня й покриття, якість формування зварного шва, ступінь розбрикування, утворення «лашка», легкість відділення шлаку та ін. Оглядом поверхні шва визначають наявність пор, які виходять на поверхню, у лому таврового шва — наявність пор і шлакових включень.

Зварювальний дріт перевіряють на чистоту поверхні від оксидів, іржі та забруднень. Якщо властивості дроту відповідають сертифікату й вимогам стандартів, то забруднення на поверхні (але не оксиди) можуть бути оцінені механічним чи хімічним способом.

Використання дроту з мідним покриттям виключає можливість утворення іржі й сприяє утворенню якісних зварних швів.

При необхідності виконується технологічна проба, за якою установлюють якість формування зварного шва, ступінь розбрикування, легкість відділення шлаку, утворення пор, так як і при першій пробі електродів.

Зварювальний флюс контролюють методом перевірки грануляції й технологічної проби, яка дозволяє, як і у випадку перевірки електродів і зварювального дроту, визначити за зовнішнім оглядом шва і його лому якість формування, пори і шлакоутворення,

відділення шлаку. При зварюванні відповідальних конструкцій флюс перед роботою перевіряють на гранулоутворюючий склад, однорідність, насичену щільність і забрудненість. При вологості понад 0,1% флюс проसують.

Захисні гази (вуглекислий газ, аргон) при наявності сертифікатів заводу-виробника піддають контролю тільки в тому випадку, коли у зварних швах, виконаних з їх використанням, виявляють недопустимі дефекти.

Зібрані під зварювання деталі перевіряють на відповідність вимогам технології та проекту. За допомогою спеціальних шаблонів і лінійок перевіряють якість зрізу кромки (рівномірність і величину кута розкриття, відсутність місцевих випримо), наявність і величину пригуплення, перевищення кромки, величину й рівномірність зазору. Особливу увагу приділяють перевірці частоти поверхонь кромки і зони, яка прилягає, зачищанню прихваток.

При зварюванні сталей (у т. ч. і тих, які гартуються) товщиною понад 20 мм поверхні прихваток старанно перевіряють на наявність тріщин.

Прихватки з тріщинами повинні бути старанно видалені, місця основного металу, де вони знаходилися, оглядають за допомогою лупи і тільки після цього виконують нові прихватки із застосуванням особливих технологічних прийомів, наприклад, підтріпу.

22.7.2. Процес зварювання

Візуальне спостереження за виконанням зварювання дозволяє не допустити значної частини дефектів зварного шва. Правильність режиму зварювання контролюють за зовнішнім виглядом зварного шва, перевіряють ефективність газового захисту. Після зварювання кореневих швів і зачищення їх від шлаку, контроль за допомогою лупи може своєчасно виявити появу тріщин. З цієї метою використовують і пошарову перевірку при зварюванні багатопрохідних швів, особливо зварюванні спецсталей. На цьому етапі дуже важливим є самоконтроль, який безпосередньо виконує зварник. Він перевіряє стабільність підтримання режиму, що особливо важливо у випадку механізованого зварювання; оглядає кратери, які утворюються при закінченні горіння електрода або при вимушеній зупинці процесу.

22.7.3. Готові зварні вироби

Огляд і обмірювання готового виробу є першочерговим і важливим етапом приймального контролю. Найперше оглядають зварні шви і поверхню виробу в зоні термічного впливу. Зовнішній огляд дозволяє знайти такі зовнішні дефекти: подрізи, поверхневі

пори та свищі, напівни, провали, незаварені кратери, тріщини, які виходять на поверхню, а також виповари (у випадку двобічного доступу до зварного з'єднання). При огляді попередньо очищеної від шлаку і брідок поверхні швів і біляшовних зон застосовують дуни і при необхідності додаткове місцеве освітлення. Різми швів, шпириту, висоту посилення, плавність переходу від посилення до основного металу, катет шва перевіряють за допомогою спеціальних наблонів.

22.7.4. Фізичні основи контролю

Зварні з'єднання багатьох конструкцій, наприклад, газгольдерів, трубопроводів повинні мати не тільки міцність, але й непроницаєість для рідин і газів. Непідлягоєті зварних з'єднань спричинюють витрату продуктів з небезпечку зараження довкілля. Слід зауважити, що токсичні продукти знищують корозійну стійкість зварних швів, створюють інші порушення, негативно впливають на роботу зварних конструкцій. Якщо до зварних з'єднань ставляться вимоги непроницаєності для рідин і газів, то надійність зварної конструкції буде характеризуватися герметичністю.

22.8. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ МЕТОДИ

Гідравлічним випробуванням піддають трубопроводи, резервуари, технологічні апарати та інші споруди з метою перевірки щільності та міцності зварних швів. Гідравлічні випробування регламентуються ГОСТом 3242-79, який передбачає їх здійснення трьома способами: гідравлічним тиском, поливанням води і поливанням водою. Вибір способу, основні параметри випробувань (величина тиску, витримка й герметичність) установлюють відповідні ТУ та правила Держнаглядохоронвирані України.

При *випробуванні гідравлічним тиском* виріб зановнюють контрольною речовиною (робочою речовиною або водою), герметизують. Потім за допомогою насоса створюють у ньому необхідний тиск, при якому витримують протягом часу встановленого ТУ, потім обстукують молотком з крутим бойком і оглядають усі зварні та інші з'єднання для виявлення місць витікання. Герметичність можна визначати не лише за появою на поверхні виробу крапель рідини, але й за свадом тиску на манометрі під час випробування.

Випробування поливанням води проводять для контролю щільності з'єднань відкритих споруд: вертикальних циліндричних резервуарів і газгольдерів, цистерн, відділів суден. Зварні шви про-

тирають і сушать, обдувають повітрям. Споруду зановнюють водою (до переобаченого ТУ рівня) і після певного часу всі з'єднання піддають зовнішньому огляду. Контроль проводиться при атмосферних температурах.

Випробування поливанням водою проводять у тих випадках, коли є можливість кільного доступу до зварних з'єднань з обох боків. З одного боку з'єднання поливають струменем води з брандспойта (тиск 0,1–1 МПа) одночасно, з іншого проводять огляд з метою виявлення течі. Вертикальні з'єднання поливають знизу вгору.

Пневматичні методи випробувань застосовують для контролю зварних швів замкнених систем – трубопроводів, посудин та апаратів, а також відкритих листових конструкцій типу резервуарів. На практиці застосовують три основних методи: випробування стиснутим повітрям, пневмогідролічним і вакуумуванням.

Випробування стисненим повітрям проводять двома способами: наповнення системи повітрям і обдуванням струменем стисненого повітря. У першому випадку після герметизації контрольованої системи (трубопроводу, посудини) в ній створюють випробувальний тиск, який дорівнює 1,1–1,2 робочого тиску. Виявлення течі проводять за допомогою піноутворюючих складників, якими зовні покривають усі шви. У місцях, де є наскрізні дефекти, під дією повітря утворюються бульбашки, за якими й визначають місце знаходження дефекту. Піноутворюючу речовину наносять на поверхню швів пензликком або за допомогою пульверизаторів (табл. 22.1).

Таблиця 22.1

Склад піноутворюючої суміші

Складники	№ 1	№ 2	№ 3
Вода, л	1	1	1
Мило туалетне, г	30	–	–
Мило господарське, 65%, г	–	30	–
Гліцерин	–	5	–
Корінь солодки (лакрий)	–	–	30

Випробування стисненим повітрям слід проводити після гідравлічних випробувань на міцність.

Випробування обдувом струменем стисненого повітря проводять для контролю герметичності зварних з'єднань листових крупногабаритних конструкцій (резервуарів, корпусів суден).

Випробування пневмогідролічним методом проводять шляхом занурення посудини в індикаторну рідину і подачі контрольного газу. Дефекти визначають за появою бульбашок.

Випробування виконують за допомогою вакуумних камер (рис. 22 14).

Камера складається з листового оргесла (наприклад, прямокутної форми), з одного боку якого за периметром приклеєна губчаста гума, яка є ущільнювачем. В оргеслі є отвір, через який за допомогою пластівців камеру з'єднують з вакуумним насосом або інжектором.

Для випробування на щільність шланку зварного шва покривають сумішшю, яка утворює піну, потім накладають вакуумну камеру, яку прижимають до поверхні виробу і включають вакуумний насос. При цьому в камері створюється розрідження. Перепад тиску може становити 0,02–0,09 МПа. Якщо у шві є нещільності, то повітря, проникаючи через них у камеру, викликає появу бульбашок. Спостерігаючи через скло за бульбашками, відзначають місця їх появи крейдою або фарбою. Трихлоридним краном упускають атмосферне повітря в порожнину камери, знімають і переміщують її на сусідню ділянку. Послідовно пересуваючи камеру, можна випробувати шви будь-якої довжини. В інституті зварювання ім. Е. О. Патона розроблені спеціальні установки для пневматичного контролю. Це механізовані візки, платформи які укомплектовані вакуумними насосами, набором вакуумних камер різної конфігурації та іншими пристроями, що дозволяють підвищити продуктивність праці.

Випробуванням газом. Відомо, що газ має особливі властивості (неполярність, висока змочувальна властивість, відносно мала в'язкість), які забезпечують високу чутливість контролю. Крім того контроль відрізняється простотою й доступністю, не вимагає складного обладнання та дефіцитних матеріалів. Розрізняють чотири способи випробуванням газом: газовий, газопневматичний, газовакуумний і газодібраційний.

При **газовому способі** на зварне з'єднання, очищене від шлаку та інших забруднень, наносять тонкий шар крейдової суспензії за допомогою пульверизатора. Крейдову суспензію виготовляють із розрахунку 350–450 г меленої просіаної крейди або каоліну на 1 л води або розчинника (азолю). Після нанесення суспензії

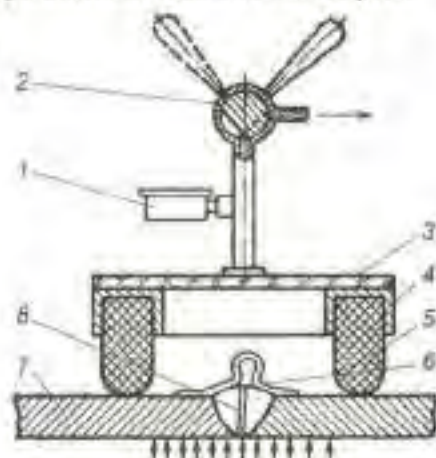


Рис. 22 14. Схема контрольно-переносної вакуум-камери:

- 1 — вакуумний насос; 2 — трихлоридний кран; 3 — пластик; 4 — дімкі; 5 — губчаста гума; 6 — вилітає бульбашка; 7 — контролюваний шов; 8 — дефект зварного шва

протилякний бік зварного шва багаторазово (5–15) змочують газом. У місцях суцільних дефектів на крейдовій суспензії з'являються темні плями. При багаторазовому змочуванні шва виявлені дефекти проходять у 2,4–3,3 рази швидше, ніж при одноразовому.

Для кращої фіксації дефектів, особливо в спеку рекомендується до газу додавати фарбу «Судан III» із розрахунку 2,5–3 г на 1 л. Фарба зафарбовує газ у червоно-ліловий колір. Для контролю панують шов з'єднань газ подають у зазор під тиском не менше 0,15 МПа.

Газопневматичний і газовакуумний способи підвищують продуктивність і чутливість методу випробування газом. У першому випадку змочені шви обдувають з боку газу стиснутим повітрям при тиску не менше 0,3–0,4 МПа. Це прискорює проникнення газу і підвищує виявлення дефектів. В іншому випадку на покриті крейдовою суспензією з'єднання встановлюють вакуумну камеру і створюють розрідження, яке сприяє проникненню газу через дефекти.

Газодібраційний спосіб відрізняється тим, що зварні з'єднання обприскують газом у процесі вібрації.

Випробування газом застосовують й у випадку, коли до зварних швів є тільки односторонній доступ. Зварні шви очищують від забруднень, витирають, потім змочують 3–4 рази зафарбованим газом, який через 15–20 хв видаляють з поверхні шва (протирають або промивають 5%-ним водним розчином кальцієвої соди). Висушену поверхню зварного з'єднання покривають з пульверизатора тонким шаром крейдової суспензії та висушують гарячим повітрям. Потім у місцях дефектів з'являються плями газу, який виходить на поверхню із дефектних місць.

22.9. ХІМІЧНИЙ МЕТОД

Основною хімічного методу контролю є властивість індикаторної речовини змінювати своє забарвлення, внаслідок хімічної взаємодії з контрольною речовиною.

Суть цього методу полягає в тому, що в контрольовану зварну посудину, після попереднього гідралічного або пневматичного випробування, подається контрольний газ. Під тиском він виходить через нещільності і в місцях суцільних дефектів зафарбовує індикаторну речовину, попередньо нанесену на поверхню зварного виробу. В якості контрольного газу використовують суміш аміаку з повітрям. Шов покривають індикаторною стрічкою з паперу або тканини, просоченої 5%-ним водним розчином азотно-кислий ртуті або розчином фенкофталеву. Тиск газу становить 0,1–0,15 МПа, час витримки — 1–15 хв. У якості індикаторів використовують також желеподібні маси, які наносять на контрольовану поверхню зварних швів; у якості контрольного газу — суміш аміаку (3%) з азотом (97%) або дуглекислий газ.

22.10. ГАЛОЇДНИЙ МЕТОД

При даному методі наявність суцільних дефектів установлюють за допомогою галоїдного течешукача. Розрізняють два способи галоїдного контролю: вакуумний і спосіб шупа. Відповідно до цього галоїдні течешукачі мають два типи датчиків: атмосферний, вакуумний. Атмосферний датчик складається з платиновитого аноду — емітера та колектора. Анод — це керамічний стержень, на який намотано спіраль; він поміщений усередину трубчатого колектора. Проміжок між колектором і емітером заповнений атмосферним повітрям. У вакуумному датчику цей проміжок вакуумується, а сам датчик додатково комплектується інжектором.

При контролі способом шупа з контролюваного виробу, який попередньо перевірили радіаційним чи акустичним методом, гидропробуванням на щільність, відкачують повітря і заповнюють контрольним газом, наприклад, фреоном. Потім тиск фреону доводять до виробувального і перемищують шуп датчика галоїдного течешукача по поверхні зварних з'єднань. При наявності течей фреон відчувається через них назовні й засмоктується в трубку датчика вентилятора, який у цьому є. При роботі течешукача платиновий емітер нагрівається до температури 800–900°C, випускає позитивні іони, які під дією прикладеної між анодом і колектором напруги 200–250 В переміщуються на від'ємно заряджений колектор. Виникає іонний струм. Іони галоїдного газу мають високий від'ємний потенціал. Потрапляючи у проміжок між емітером і колектором, вони посилюють іонний струм, який реєструється приладом із стрілкою і звуковим індикатором — телефоном. Випад іонів галоїду посилюється, який на емітері є дужки еластичні. Таку ж дію має й кисень, який при роботі у вакуумі надходить у трубку шупа за допомогою інжектора.

При вакуумному способі з'єднання з одного боку обдувають контрольним газом, з іншого перевіряють вакуумним датчиком.

У якості контрольних газів використовують хлористий вуглець, фреон та інші галоїди в чистому вигляді або в суміші з повітрям, азотом. Найчастіше використовують фреон, тому що він неотруйний і дешевий.

22.11. КОНТРОЛЬ КАПІЛЯРНИМ МЕТОДОМ

Капілярний метод контролю використовують для виявлення поверхневих дефектів зварних з'єднань (мікротріщин і тріщин), які виходять на поверхню виробу, дрібних поверхневих пор і вузьких несправів, які важко виявити при зовнішньому огляді.

Цей метод особливо важливий для контролю відповідальних зварних з'єднань аустенічних, перитодичних, жароміцних і жаро-

стійких сталей, алюмінію, латуні, властивості яких обмежують можливість використання інших методів контролю.

Розміри поверхневих дефектів — мікроскопічне розкриття і мікрокапілярна проточність, надають їм властивостей капілярів. Тому й метод контролю, який виявляється ці дефекти, називають капілярним.

Розрізняють три методи капілярного контролю: люмінесцентний, метод фарб (кольоровий) і люмінесцентно-кольоровий.

В основі **капілярної дефектоскопії** лежить зміна контрастності зображення поверхневих дефектів і фону, на якому вони виявляються, за допомогою спеціальних світло- і кольороконтрастних індикаторних рідин — пенетрантів. Їх наносять на попередньо очищену поверхню шва, витримують деякий час, видаляють надлишок рідини і наносять проявляючу суміш. Індикаторна рідина, що залишилася в дефектах, утворює на фоні проявника рисунок, за яким роблять висновок про наявність дефекту (рис. 22.15).

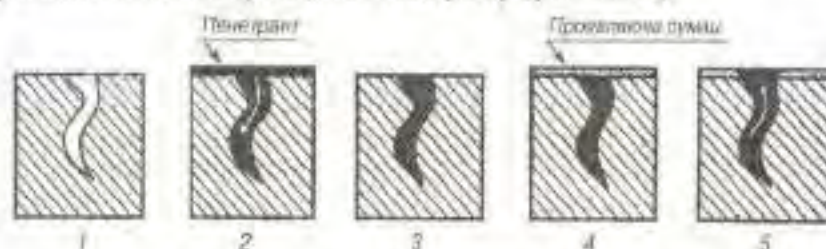


Рис. 22.15. Основні етапи контролю капілярними методами:

1 — очищення від забруднень; 2 — нанесення пенетранту; 3 — видалення пенетранту з поверхні; 4 — нанесення проявляючої суміші; 5 — виявлення дефектів.

При люмінесцентному методі контролю до складу індикаторних рідин вводять спеціальні речовини, які при подальшому освітленні чи опроміненні ультрафіолетовими променями самі стають джерелом випромінювання.

Контроль полягає в очищенні поверхні від забруднень, нанесенні індикаторної рідини, витримуванні, видаленні надлишку рідини з поверхні виробу суцільні підігрітим повітрям до 50–60°C, нанесенні проявляючої суміші і виявленні дефектів шляхом огляду в ультрафіолетових променях або при природному освітленні.

Найпоширенішою індикаторною рідиною — пенетрантом, які одержують на основі газу:

№1. Газу — 64,5, веріолу — 25, бензину — 10 і 0,5 емульгатору ОП-10 (або ОП-7);

№2. Газу — 84,5, анілінотетраметил — 15 і 0,5 емульгатору ОП-10 (або ОП-7);

№3. Газу — 50, бензину — 25, трансформаторного масла — 24,97 і 0,03 зелений-зеластого дефектола.

У якості очисника для видалення індикаторної рідини використовують воду під тиском. Залишки люмінесцентних речовин нейтралізують. При їдкому сорбційному способі проявлення використовують порошки тальку, вуглекислого магнію, силікагелю. Джерелами ультрафіолетових променів є ртутно-кварцеві лампи різних марок, а також комплекти типу ДАК-211.

Контроль методом фарб проводять за допомогою індикаторних рідин, до яких вводять спеціальні фарбники. Технологія контролю аналогічна люмінесцентному методу. Використовують індикаторну фарбу «К» і проявник – біла фарба «М» та ін.

Люмінесцентно-кольоровий метод контролю є поєднанням люмінесцентного і кольорового методів контролю. Він відрізняється тим, що індикаторні сліди не тільки люмінесціюють в ультрафіолетових променях, але й забарвлені. Люмінофори, фарбники, що використовуються при цьому методі, при опроміненні ультрафіолетовими променями дають оранжеве світіння, а при звичайному освітленні – червоне.

22.12. КОНТРОЛЬ МАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ

Магнітні методи контролю дозволяють виявляти дефекти зварних з'єднань – тріщини, неуроварі, шпаків включення, газові пори (поверхневі та на глибині до 20–25 мм), а також дрібні дефекти основного металу. Дані методи ґрунтуються на реєстрації та аналізі магнітних полів розсіювання, які виникають у місцях розташування дефектів. Найчастіше застосовують магнітопорошковий і магнітографічний способи. Магнітний потік (Φ) у ферромагнітному матеріалі поширюється по перерізу рівномірно, якщо цей матеріал суцільний і його магнітна проникність має постійне значення (рис. 22.16).



Рис. 22.16. Поширення магнітного потоку в суцільному ферромагнітному матеріалі

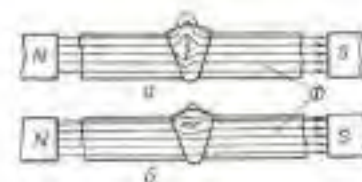


Рис. 22.17. Поле розсіювання над дефектами, розташованими перпендикулярно (а) і вздовж (б) магнітного потоку

У місцях, де є дефекти, суцільність матеріалу порушується. Стреповише дефектів виявляє великий опір магнітному потоку, який відхиляється і обтікає дефект. Магнітне поле в цьому місці стає гущим, частково виходить за межі деталі, поширюється в повітрі і входить у виріб за межями дефекту. В місцях виходу і входу магнітного потоку утворюються магнітні полюси, які зберігаються за рахунок залишкової намагніченості та після зняття намагнічуючого поля. Магнітне поле над дефектом називають полем розсіювання (рис. 22.17).

Ефект розсіювання проявляється максимально, якщо дефект розташований перпендикулярно до напрямку магнітного потоку.

Таким чином, контроль магнітними методами заключається у виявленні полів розсіювання, що утворюються дефектами, наступною фіксацією цих місць і розшифруванням характеру і величини виявлених дефектів.

22.12.1. Магнітопорошковий метод

При цьому методі магнітного контролю поля розсіювання, які утворюються під місцями розташування дефектів, виявляються за допомогою магнітних порошоків. Ферромагнітні частинки цих порошоків, потрапляючи в неоднорідне магнітне поле, прагнуть під його дією зосередитися у тих місцях, де його силові лінії згущаються, тобто біля країв дефектів, і над місцями, де вони розташовані, якщо дефекти поверхневі.

Застосовують порошки чорного або пегляно-червоного кольору (порошки технічного і синтетичного магнетиту, порошок ферромагнітного оксиду заліза, розмелену окаліту). Використовують також масляно-люмінесцентні порошки.

Контроль магнітопорошковим методом проводиться сухим і мокрим способами. При сухому – за допомогою пульверизатора або сита наносляють сухий порошок, а для кращого прилягання порошку над дефектом використовують суспензію магнітних частинок у рідині – мокрий спосіб. Перед застосуванням магнітопорошкового методу зварну конструкцію намагнічують за допомогою постійного магніту або шляхом пропускання електричного струму (постійного, змінного, імпульсного).

Магнітопорошковий метод контролю здійснюється за допомогою стаціонарних, пересушних і переносних дефектоскопів. Для монтажних умов використовують пересушні та переносні магнітні дефектоскопи.

22.12.2. Магнітографічний метод

Цей спосіб заключається в реєстрації магнітних полів розсіювання від дефектів, зафіксованих на магнітній стрічці, і в зчитуванні цього запису за допомогою спеціальних пристроїв, які перетворюють одержану інформацію в сигнали, видимі на екрані електронно-променевої трубки.

Методи контролю: поверхню шва очищують від бруду, води, металевих бризок, залишків шлаку; попередньо розмагнічують магнітну стрічку, кладуть на контрольоване з'єднання і щільно притискають до поверхні гумовим цесом; виробу намагнічують електромагнітом, який переміщують вздовж шва. При цьому магнітні полюси

расположения, что выявляются в местах расположения дефектов, фиксируются на магнитной стрічці. Інформацію про якість зварного з'єднання зчитують за допомогою дефектоскопа і визначають місце знаходження дефекту.

Магнітографічний метод широко застосовується при контролі зварних стиків трубопроводів (рис. 22.18).

Застосовують також способи автоматизованого контролю, при яких занес поля дефекта проводиться на неперервну магнітну стрічку, випущену у вигляді замкнутої петлі.

Індикація контролю як імпульсу, так і відео проводиться відразу ж після занесу поля дефекту, після чого занес стирається, розмагнічується і цю ділянку стрічки знову можна використовувати. Для фіксації якості шва можна проводити занес на паперову стрічку, а місця дефектів позначати за допомогою різноманітних приладів, які відзначають дефекти і спрацьовують за максимальним сигналом.

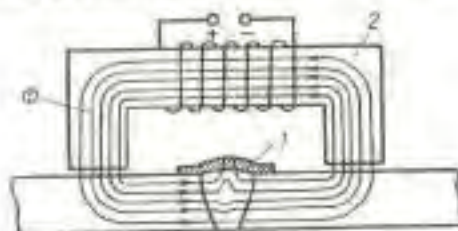


Рис. 22.18. Схема проведення магнітографічного контролю:

1 — магнітна стрічка; 2 — електроманіт

22.13. КОНТРОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ МЕТОДАМИ

Ультразвукова дефектоскопія якості зварних з'єднань застосовується на заводах і в монтажних організаціях.

Переваги контролю ультразвуковим методом — це оперативність, чутливість до найнебезпечніших дефектів (тріщини й непровари), високі техніко-економічні показники. Апаратура для контролю — портативна та надійна.

Для виявлення дефектів у зварному з'єднанні в основному застосовують три методи ультразвукового контролю: ехо-імпульсний метод, тіньовий і дзеркально-тіньовий.

Ехо-імпульсний метод (рис. 22.19 а) здійснюється шляхом введення у виріб імпульсу ультразвуку і прийому відображеного від дефекта ехо-сигналу, який є ознакою наявності нещільності. За відрізком часу між висланими імпульсами роблять висновки про глибину залегання дефекту.

При тіньовому методі (рис. 22.19 б) шукані розташовують на протилежних поверхнях виробу, ультразвук проходить від випромінювача до приймача через контрольований переріз, а ознакою дефекту є зменшення амплітуди (інтенсивності) сигналу. Цей метод використовується в імпульсному та в неперервному режимах випромінювання ультразвуку.

Дзеркально-тіньовий метод (рис. 22.19 в) — при наявності дефекту роблять висновок за зменшенням амплітуди ехо-сигналу відображеного від протилежної лонної поверхні виробу і ослабленого наявністю нещільностей.

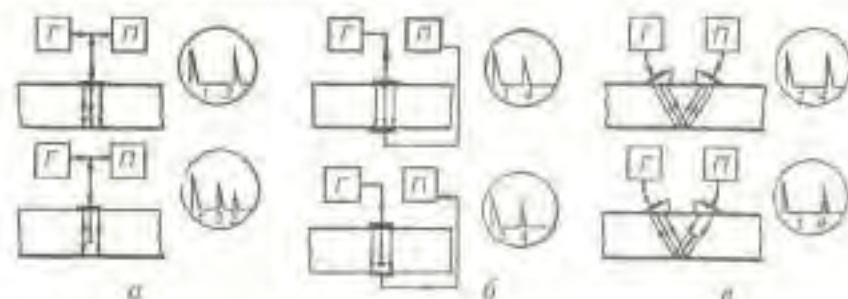


Рис. 22.19. Схема ультразвукового контролю ехо-імпульсним (а), тіньовим (б) і дзеркально-тіньовим (в) методами

Найчастіше застосовують високочутливий ехо-імпульсний метод, у якому послідовно працюють функції випромінювача та приймача.

Ультразвуковий контроль ґрунтується на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від поверхні поділу двох середовищ. У дефектоскопії застосовують п'єзoeлектричний спосіб утворення ультразвукових хвиль, який ґрунтується на збудженні механічних коливань (вібрації) у п'єзoeлектричних матеріалах (кварц, сульфат літію, титанат барію та ін.) при накладанні змінного електричного поля.

Пружні коливання досягають максимального значення тоді, коли частота електричних коливань збігається з коливанням п'єзoeлектричного датчика: частоти ультразвукових коливань звычайно перевищують 20000 Гц. За допомогою п'єзoeлектричного шнура ультразвукового дефектоскопа, який розміщують на поверхні зварного з'єднання, в метал надсилають спрямовані електричною коливання (рис. 22.20). Ультразвук вводять у виріб окремими імпульсами під кутом до по-

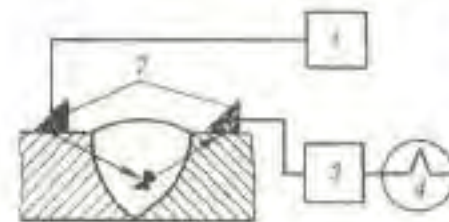


Рис. 22.20. Ультразвуковий контроль:

1 — зондуєний імпульс; 2 — допалі імпульс; 3 — імпульс від дефекта; 4 — імпульс ультразвукових коливань, які пройшли контрольований виріб

верхні металу. При зустрічі з дефектом виникає відбита ультразвукова хвиля, яка сприймається одним шумом або тим самим під час паузи між імпульсами. Відбитий ультразвуковий сигнал перетворюється в електричний, підсилюється і подається на трубку осцилографа, де фіксується дефект у з'єднанні у вигляді півку на екрані осцилографа.

22.14. КОНТРОЛЬ РАДІАЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Можливість безруйнівного контролю радіаційними методами заснована на здатності іонізуючих випромінювань, які випускає джерело, проникати з різним ступенем ослаблення через зварне з'єднання і діяти на реєструючий пристрій (детектор).

Залежно від способу реєстрації результатів (способів детектування) розрізняють три методи радіаційного контролю: радіографічний, радіоскопічний і радіометричний.

На монтаж найчастіше застосовують **радіографічний метод**, бо радіографічний знімок є документальним підтвердженням якості зварного з'єднання. Апаратура має невелику масу, компактна й мобільна, що дає можливість використовувати її при різних обставинах.

Радіоскопічний і радіометричний методи дають можливість автоматизувати процес контролю, але через громіздку апаратуру застосовується тільки в заводських умовах. При радіаційних методах необхідно забезпечити радіаційну безпеку обслуговуючого персоналу і оточуючих.

Виявлення дефектів при радіаційному просвічуванні ґрунтується на різному поглинанні рентгенівського чи гама-випромінювання ділянками металу з дефектами чи без них. Зварні з'єднання просвічуються спеціальними апаратами.

З одного боку шва на деякій віддалі від нього розміщуються джерела випромінювання, з протилежного боку щільно притискають касету з чутливою плівкою (рис. 22.21). При просвічуванні випромінювання проходить через зварне з'єднання і опромінює плівку. В місцях, де є пори, шлакові включення, непровари, крупні тріщини на плівці утворюються темні плями. Вигляд і розміри дефектів визначають порівнянням плівки з еталонними знімками.

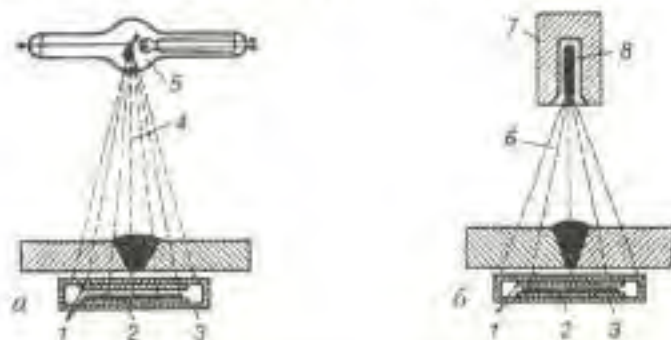


Рис. 22.21. Схема просвічувача зварних швів.

а — рентгенівським випромінюванням; б — гама-випромінюванням; 1 — підсилюваний екран; 2 — рентгенівська плівка; 3 — касета; 4 — рентгенівське випромінювання; 5 — рентгенівська трубка; 6 — гама-випромінювання; 7 — свинцевий кожух; 8 — ампула радіоактивної речовини

Просвічування не дозволяє виявити тріщини, якщо вони розміщені не в напрямі центрального променя (кут більше 3°), а також непровари у вигляді зліпання зварювальних металів без шлакового чи шлакового провару. Цим способом визначають дефекти в металі товщиною до 60 мм.

При **рентгеноскопії** одержують сигнали про дефект при просвічуванні металу на екрані.

Екрани покривають флуоресцентними речовинами, які світяться під дією рентгенівського випромінювання. Різні ділянки мають різне світіння через різну ступінь поглинання променя.

Цей контроль використовують у поєднанні з телевізійними пристроями, що перетворюють рентгенівське зображення у видиме.

При просвічуванні зварних з'єднань джерелом гама-випромінювання є радіоактивні ізотопи: кобальт-60, титан-170, іридій-122 та ін.

Ампулу з радіоактивними ізотопами зберігають у спеціальній контейнер. Техніка просвічування аналогічна до рентгенівського. Різниця в більшій жорсткості та меншій довжині хвилі, які проникають у метал глибше і просвічують метал товщиною до 300 мм. Апаратура портативна, можна використовувати в будь-яких умовах, дешева, невелика — менша чутливість, неможливість регулювання інтенсивності випромінювання (в рентгенівських апаратах регулюється напругою, яка підводиться). Гама-випромінювання дуже небезпечне при необережному поводженні з гама-апаратами.

22.15. РУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ. МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Для оцінки механічних властивостей зварні з'єднання підлягають різном випробуванням. Механічні випробування зварних з'єднань застосовують у випадку, коли потрібно визначити якість зварювальних матеріалів, розробити оптимальні технологічні режими (особливо при зварюванні спецсталей), а також при перевірці кваліфікації зварників чи при їх переатестації.

Механічні випробування зварних з'єднань за характером прикладання навантажень у часі можна поділити на три основні види:

— статичні випробування, які здійснюються шляхом поступового збільшення навантаження навіть до повного його руйнування; бітують роботу зварних з'єднань при постійному навантаженні;

— динамічні випробування, при яких зусилля зростає миттєво і діє майже миттєво. Вони характерні для з'єднань, які працюють в умовах швидкозростаючих навантажень (ударів);

— випробування на втомлюваність, при яких навантаження миттєво змінюється за частотною або за величинною та знаком.

Методи визначення механічних властивостей зварних з'єднань передбачають наступні види випробувань металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу зварного шва:

- на статичний (короткочасний) розтяг;
- на ударний згин (на надрізаних зразках);
- на стійкість проти механічного старіння;
- на статистичний розтяг зварного з'єднання;
- на статистичний згин (згин зварного з'єднання);
- на ударний розрив зварного з'єднання.

Крім того, вони передбачають вимірювання твердості металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу. Випробування проводять на зразках, які вирізаються безпосередньо з контрольованих виробів, наприклад, із стінки трубопроводів або з контрольних з'єднань, які спеціально зварюються.

При цьому необхідно використовувати ті ж зварювальні матеріали й основний метал, режим зварювання і термообробки, тих же зварників.

Вирізування заготовок для зразків необхідно, по можливості, проводити на металорізальних верстатах, щоб не змінювалась структура металу.

До початку випробувань на всі зразки (ноза із робочою зоною) ставиться клеймо, яке зберігається після випробувань.

22.15.1. Статичні випробування

Випробування на розтяг є одним з найпоширеніших, тому що дають можливість порівняно точно оцінити поведінку металу й при інших видах навантажень. Цей вид випробувань передбачається для більшої частини відповідальних зварних конструкцій, є відносно простим і легким у виконанні (рис. 22.22).

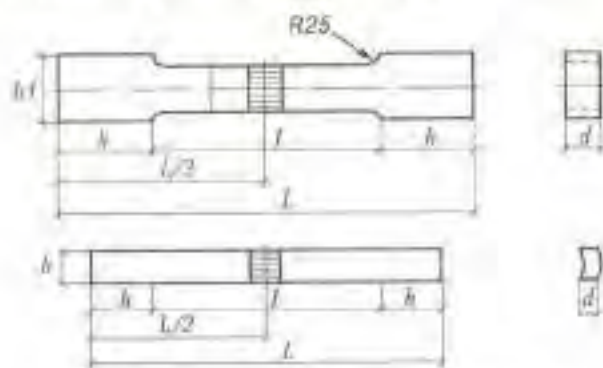


Рис. 22.22. Зразок для випробування на розтяг

При випробуванні на статичний (короткочасний) розтяг можна визначити границю текучості металу (різна або умовна), тимчасовий опір, відносне видовження і зрухоння.

Випробування проводять на спеціальних машинах для визначення властивостей металу шва і різних ділянок об'єктованої зони при всіх видах зварювання плавленням.

Випробування кутових з'єднань (гавронос, випуклих) проводять, зокрема рідше, оскільки досить складно виконати зразки.

При випробуванні на згин використовують зразки циліндричної або прямокутної форми (рис. 22.23).

Згин проводять на зразках із згиним посиленням і в бік, протилежний кореню шва (при односторонньому зварюванні). За величину допустимого кута згину залежно від матеріалу і його товщини роблять висновки про пластичні властивості зварного шва та більшої зони.

Випробування на зминання проводять для труб малого діаметра з похилою та поперечними швами. Випробування проводять на пресі шляхом деформації зразка стискувачем навантаженом. Результати випробувань характеризуються величиною пряселу між стиснутими поверхнями при утворенні першої тріщини (рис. 22.24).

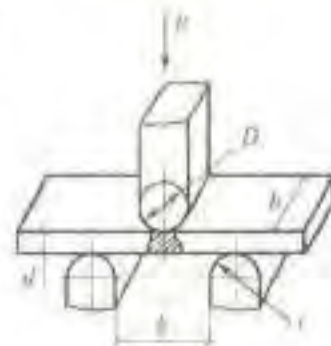


Рис. 22.23. Схеми випробування на статичний згин. D – діаметр трубок

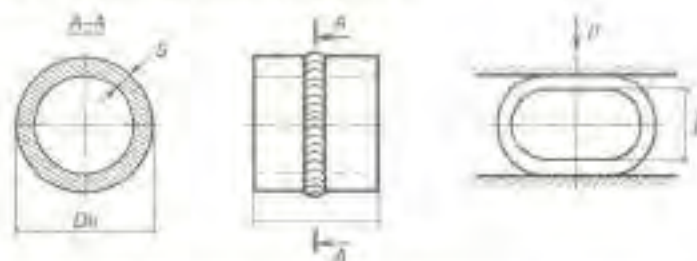


Рис. 22.24. Зразок і схема випробування на зминання

22.15.2. Динамічні випробування

Динамічні випробування розрізняють за характером деформації, температурними умовами, діяльністю і циклом навантажень. До основних видів динамічних випробувань зварних з'єднань відносяться випробування на ударну міцність. Випробування на

ударний згин задіюючи відносною швидкістю виконання і точності результату є найбільш ефективним (рис. 22.25). При цих випробуваннях визначають, ударну в'язкість шва, різних ділянок біляшовної зони і наплавленого матеріалу.

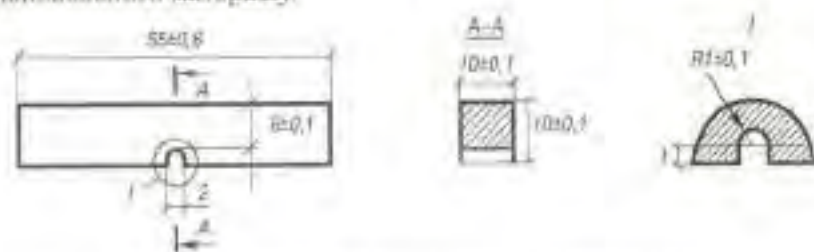


Рис. 22.25. Зразок для випробування на ударний згин

22.15.3. Випробування на втомлюваність

Різні структури і механічні властивості зварних швів: зони термічного впливу під впливом перемінних навантажень можуть призвести до утворення мікротріщин, а потім і до руйнування зварного з'єднання. Таке руйнування називають втомлюваністю, а стан металу при цьому – втомлюваність. Зразок зварного з'єднання піддають дії перемінних навантажень – розтягу, стиску, згину, кручення або комбінації цих навантажень.

22.16. МЕТАЛОГРАФІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Процес утворення зварних швів супроводжується нагріванням і розплавленням присадкового матеріалу й зварних кромки. Їх спільною кристалізацією та охолодженням, нагрівом і охолодженням основного металу в зоні термічного впливу.

При цьому залежно від режимів і технологічних особливостей зварювання й термічної обробки структура металу шва та зони термічного впливу буде різною. Відповідно будуть відрізнятися їх властивості й хімічний склад. Вивчення структурних основних металу різних зон зварних з'єднань проводиться при металографічних випробуваннях, які дозволяють виявити зміни, що проходять у металі при різних режимах зварювання і термообробки.

При металографічних випробуваннях досліджують характер руйнування зразків (вид злому), макро- і мікросструктуру зварного шва і зони термічного впливу. Крім цього, на шліфах для металографічних випробувань визначають твердість різних зон зварного з'єднання.

Для визначення виду злому використовують зразки, які руйнуються при випробуваннях різних видів. Огляд злому проводять неозброєним оком або за допомогою лупи з десятикратним збільшенням. Пластичне руйнування характеризується утворенням «шиїки» в зразках, які випробовуються на розтяг. Пластичні метали дають волокнистий срий злом із матовою поверхнею. Це свідчить про наявність більш сприятливих дрібнозернистих структур.

При крихкому руйнуванні зміна розмірів зразків незначна, злом має блискучий кристалічний вигляд, метал відрізняється крупнозернистою структурою з явними пластичними властивостями.

Зразки руйнуються у місцях наявності дефектів, які легко виявляються на зломі. Пори виглядають як круглі або витягнуті пустоти з гладкими стінками. Гарячі тріщини характеризуються темною окисненою поверхнею; поверхня металу вздовж тріщин блискуча; пустоти з гострими краями вказують на наявність сторонніх включень (ноді у зломі зберігаються й самі включення).

Таким чином, за видом злому можна робити висновок про будову металу в місці злому, про його однорідність, судійність і пластичні властивості.

22.16.1. Макроаналіз

Макроструктуру досліджують для визначення розмірів і форми перерізу зварного шва, величини зони термічного впливу, виявлення нецільностей у вигляді непроварів, тріщин, пор та інших дефектів.

При макродослідженнях можна виявити ділянки хімічної неоднорідності, діфузійні зони, усадкову пористість, форму, розміри й напрям росту кристалітів.

Макроаналіз проводять на спеціально заготовлених зразках-макроналіфах. Для приготування шліфів із зварних з'єднань вирізують плоскі заготовки – темплети. Вирізування виконують упоперек чи по площині зварного шва так, щоб у них входили всі ділянки з'єднання: наплавлений метал, зона сплавлення й термічного впливу, основний метал. Досліджувану поверхню зразка попередньо обробляють різанням або абразивом, шліфують, знежирюють і піддають травленню спеціальними реагентами. Різні зони зварного з'єднання неоднаково взаємодіють із реагентами, тому окремі ділянки втрачають відображувальну здатність і проявляються у вигляді затемнених складових.

Рельєф, утворений затемненими і світлішими ділянками, відтворює картину структури.

22.16.2. Мікроаналіз

Мікроаналіз – це дослідження спеціально виготовлених мікрошліфів за допомогою металографічних мікроскопів, які дають збільшення в 50–2000 і більше разів. При вивченні мікрошліфів виявляють дефекти у вигляді мікротріщин і мікроскопічних уключень, визначають структурні складові зварного з'єднання (різних ділянок шва і зони термічного впливу), що дозволяє робити висновки про процес кристалізації металу шва.

Мікрошліфи виготовляють із вирізаних для металографічного аналізу ділянок металу зварного з'єднання. Для зручності обробки площа шліфа не повинна перевищувати 20×20 мм, а товщина – 10–15 мм. При значній шліфуванні шліфувальний шар із спотвореною дією обробки структурою становить 50–100 мкм, оскільки глибина травлення для виявлення мікроструктури не перевищує 10 мкм. Шар із спотвореною при шліфуванні структурою повинен бути видалений. Для цього шліфи маловуглецевих і низьколегованих сталей обробляють наждачним папером, поступово переходячи від більш крупного зерна до дрібнішого, а потім проводять полірування з допомогою паст. Полірування виконується на спеціальних стінках з горизонтально розташованим полірувальним кругом, який обертається від електродвигу. Потім зразки промивають водою, спиртом і відразу ж піддають травленню. У якості реактивів для мікроаналізів із низьковуглецевих і середньолегованих сталей найчастіше використовують слабкі спиртові розчини кислоти.

Дуже високу якість мікрошліфів можна одержати при електролітичному поліруванні й травленні. Для цього їх занурюють у ванну з електролітом і пропускають електричний струм. Мікровиступи зразка під дією струму розчиняються. При цьому поверхня шліфа одночасно полірується і протравлюється. Цей метод дає можливість повністю ліквідувати сліди шару, який деформується при механічній обробці, і дозволяє виявити найтонші структурні складові.

22.16.3. Вимірювання твердості

Твердістю називається здатність металу чинити опір пластичній деформації при вдавлюванні в нього значно твердішого тіла. Твердість дає можливість одержати правильну картину показників міцності різних ділянок зварного з'єднання, тому що для пластичних металів вона пропорційна тимчасовому опору при розриві.

До основних видів випробування на твердість відносяться три передбачені стандартом методи, названих за іменами їх винахідників:

метод Брінелля, метод Віккерса і метод Роквелла.

Вимірювання твердості за *методом Брінелля* застосовують для металів (співвідношення та середньої твердості). Суть методу полягає у вдавлюванні шарика визначеного діаметра у випробувальний зразок під дією певного зусилля.

Для випробування матеріалів великої твердості застосовують *метод Віккерса*, де наконечником для випробування є алмазна піраміда, яка дозволяє перевірити твердість деталей малих габаритів і тонких шарів.

Для випробування за *методом Роквелла* твердість вимірюється не за розмірами відбитка, а заглибиною проникнення алмазного конуса або сталеного шарика у випробувальний зразок металу.

Велике значення має визначення твердості окремих складових зварного шва – мікротвердості. Це дозволяє оцінити повноту проходження багатьох металургійних процесів, які проходять при зварюванні.

Вимірювання твердості рекомендується проводити за відповідними схемами. Для стикових з'єднань листів товщиною менше 3 мм дозволяється проводити вимірювання твердості по зовнішній поверхні зразка із зняттям до рівня основного металу «поглиблення».

22.17. КОРОЗИЙНІ ВИПРОБУВАННЯ

Корозією називається зниження міцності зварних з'єднань, яке викликане неворотними фізико-хімічними перетвореннями, які проходять у металі під дією активних складових середовища або робочого середовища. В основі корозійних явищ лежать два процеси: хімічний та електрохімічний. Хімічна корозія – це хімічна взаємодія між металом і середовищем. Інтенсивність визначається концентрацією окислювального компонента в середовищі, яке діє на метал. Типи її виду корозії відображені в таблиці 22.2.

Хімічна корозія має найбільше значення при підвищених температурах на межах металу з газовим середовищем. Її називають газовою корозією.

Цей процес розвивається ще на етапі утворення зварного з'єднання і йому можна запобігти застосуванням матеріалів, які мають велику стійкість проти активних складових середовища. Для зварного з'єднання найбільше значення має електрохімічна корозія, яка проходить через утворення гальванічних пар і протікання електричного струму внаслідок взаємодії металу з електролітично-провідним середовищем. Різні зони зварного з'єднання мають на поверхні різні електрохімічні потенціали і внаслідок цього можуть виступати в ролі мікроелементів. Типами мікроелементами є зварний шов, зони нагріву, перекристалізовані, максимальна пластична деформація та основний метал.

Основні типи і види корозії

Тип і вид корозії	Характер руйнування
<i>1. Локальна корозія:</i>	
рівномірна	
концентрація на шві	
концентрація в зоні термічного впливу	
на основному металі	
<i>2. Місцева міжкристалітна:</i>	
в зоні термічного впливу	
пожора в зоні плавлення	
у зварному шві	
точкова	
<i>Корозія італізованості:</i>	
корозійне розтріскування	
повторно статична, циклова	

Серед загальної корозії найбільш небажаними є ті її види, які мають зосереджений характер. Місцева міжкристалітна корозія, яка виражає переважно у зварних з'єднаннях хромистих і хромоникелевих сталей і алюмінієвих сплавів, різко знижує несучу здатність конструкцій і більш небезпечна, ніж загальна, бо її важко прогнозувати. Але найбільшу небезпеку викликають руйнування, які можуть виникнути внаслідок руйнувань, корозійної ігомлюваності. Цей вид руйнувань звідки так сильно діє на корозійного середовища і напружень при статичних навантаженнях (корозійне розтріскування), а також при статичних і циклічних навантаженнях. Небезпека цих руйнувань у тому, що їм притаманні крихіткість, можуть розвинути міжкристалічні та транскристалічні тріщини. Їх виникнення може призвести до раптового виходу з ладу відповідальних конструкцій.

Корозійну стійкість оцінюють за основним методом. При цьому традиційні зразки піддають дії сильних кислот протягом певного часу, потім зважують і встановлюють втрати або визначають товщину зруйнованого металу.

22.18. ХІМІЧНИЙ І СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Хімічний склад основного і присаджувального металу суттєво впливає на його механічні, корозійні й технологічні зварювальні властивості. Тому розробляючи нову технологію зварювання, перевіряючи правильність матеріалів, які застосовуються, проводячи дослідження причин появи різного роду дефектів, виконують хімічний аналіз металу різних ділянок зварного з'єднання. Хімічному аналізу піддають основний метал, електроди, присаджувальний дрот і наплавлений метал. При хімічному аналізі основного металу важливо встановити, що з'єднання основних легуючих і особливо шкідливих елементів (наприклад, сірки і фосфору) знаходиться в допустимих межах. У деяких випадках проводять також аналіз основного металу на вміст в ньому азоту, кисню і водню. Хімічний аналізом шва можна встановити чи відповідає вміст вуглецю, кремнію, марганцю і основних легуючих елементів нормі.

Метал для хімічного аналізу підбирають у вигляді стружки безпосередньо із зварного з'єднання.

Розроблені також методи та апаратура для локального спектрального аналізу, які дозволяють з високою точністю визначити хімічний склад металу площею менше $0,1 \text{ мм}^2$. Спектральний аналіз проводять на зразках, або безпосередньо на виробі. Хімічний склад визначають за лініями спектра, який дають пари металу, що попадають у дугу спектроскопа. Кожному металу відповідає свій спектр, який дозволяє ідентифікувати і кількісно оцінити хімічний склад.

1. Назвіть основні показники якості зварних з'єднань.
2. Які дефекти виникають при підготовці та складанні зварних виробів?
3. Які дефекти відносяться до зовнішніх? Назвіть причини їх виникнення.
4. Які дефекти відносяться до внутрішніх? Назвіть причини їх виникнення.
5. За якими ознаками класифікують неруйнівні методи контролю?
6. Як контролюють вихідні матеріали, заготовки від аварійності?
7. Які методи контролю відносяться до піддямпованих і інтенсивних, їх функції основні?
8. У чому суть каплярного методу контролю?
9. У чому суть контролю капітними методами?
10. У чому суть ультразвукового контролю?
11. Які види радіаційного методу контролю вам відомі?
12. Назвіть основні види механічних випробувань і коротко їх охарактеризуйте.
13. Назвіть основні види і типи корозії.
14. Як здійснюється хімічний і спектральний аналіз?
15. У шлі з'явилася тріщина. Вкажіть причину та спосіб лікування.
16. Виберіть метод контролю для визначення дефектів при зварюванні труб.
17. У шлі не зварений шпатель. До чого це може призвести?
18. Які дефекти є найнебезпечнішими для посудин, які працюють під тиском?
19. Як запобігти корозії на зварне з'єднання?
20. Як здійснюється випробування на розтяг?
21. Охарактеризуйте методи металографічного випробування.
22. У чому суть макроаналізу?
23. Охарактеризуйте види металографічних випробувань зварних з'єднань.
24. Як визначати твердість металу?
25. Назвіть основні види контролю зварювання магнітними методами.
26. Як здійснюється галогенова контроль?
27. Охарактеризуйте індикаторні рідини.
28. Охарактеризуйте магнітнокорозійний метод контролю.

ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО НОРМУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

23.1. НОРМУВАННЯ ЧАСУ ЗВАРЮВАННЯ

Технічне нормування передбачає встановлення технічно-обґрунтованих норм часу на виконання різних зварювальних робіт. Норми часу дозволяють зварювцю продуктивно використовувати робочий час, повністю завантажувати зварювальне обладнання, а при раціональних прийомах зварювання перевищувати встановлені норми.

До норми часу на виконання зварювальних робіт входять:

- основний час;
- підготовчо-заключний час;
- допоміжний час;
- час обслуговування обладнання і підпочинок.

Основний, або машинний час включає час горіння дуги або час плавлення електроди при зварюванні 1 м шва. Основний час визначають і підраховують з урахуванням технологічного процесу зварювання, продуктивності зварювання обладнання та режимів зварювання.

Підготовчо-заключний час включає в себе отримання завдання, інструктаж, вибір режиму зварювання, встановлення балонів, підготовку джерела живлення, зділу готової продукції.

Допоміжний час складеться з часу на встановлення деталі, поворот її в процесі зварювання, регулювання струму, розігрівання електрод, перехід з одного місця на інше, огляд шва, очищення електрод і шва, клеймування й прибирання виробу тощо.

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби включає в себе прибирання робочого місця та устаткування.

У більшості випадків підготовчо-заключний і допоміжний час, а також час на обслуговування робочого місця і відпочинок при дуговому зварюванні становить 30–50% основного часу.

23.2. НОРМУВАННЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для розрахунку основного часу зварювання необхідно знати силу зварювального струму, масу наплавленого металу й коефіцієнт наплавлення електроди.

Масу наплавленого металу визначають за розмірами шва, які вказують на арешті. Об'єм наплавленого металу визначають за формулою:

$$V_H = FL$$

де V_H – об'єм наплавленого металу, см^3 ; F – площа поперечного перерізу шва, см^2 ; L – довжина шва, см .

Масу наплавленого металу визначають за формулою:

$$Q_H = V_H \gamma$$

де Q_H – маса наплавленого металу, г; V_H – об'єм наплавленого металу, см^3 ; γ – густина металу, $\text{г}/\text{см}^3$ (для сталі $\gamma = 7,8 \text{ г}/\text{см}^3$).

Силу зварювального струму ($J_{\text{зв}}$) встановлюють залежно від діаметра електрода, просторового положення шва та інших даних.

Коефіцієнтом наплавлення (α_H) називають кількість металу, наплавленого протягом 1 год горіння дуги на одиницю сили струму ($\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$). При ручному зварюванні коефіцієнт наплавлення залежить від марки електрода (табл. 23.1).

Таблиця 23.1

Залежність коефіцієнта наплавлення від марки електрода

Марка електрода	Коефіцієнт наплавлення, $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$
УОНИ-13/45	8,5
АНО-11	10,5
ЦМ-7	10,6
МР-3	7,8
ОММ-5	7,25
АНО-1	15,0
СМ-11	9,5
ОЗС-2	8,5
АНО-3	8,5
ЦЛ-9	9,0

Основний час зварювання ($t_{\text{ос}}$) визначають за формулою:

$$t_{\text{ос}} = \frac{Q_H}{I_{\text{зв}} \alpha_H}$$

Допоміжний час при ручному зварюванні складається з часу, витраченого на вмикання і вимкання джерела живлення, зміну електродів, зачищення кромки, встановлення і зняття деталей, зачищення шлаку, огляду швів тощо.

Витрати підготовчо-заключного і допоміжного часу на обслуговування робочого місця і відпочинок становлять 30–50% і визначаються хронометражними спостереженнями.

Витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу при зварюванні на змінному струмі становлять 3–4 кВт·год, а при зварюванні на постійному струмі – 4–6 кВт·год.

23.3. НОРМУВАННЯ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ТА АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Норму часу на автоматичне і напівавтоматичне зварювання визначають за таким же методом як і на ручне дугове зварювання. При цьому основний час при однаковій товщині металу менший, ніж при ручному зварюванні. Силу зварювального струму визначають за даними технологічного процесу. Коефіцієнт наплавлення залежить від хімічного складу дроту і флюсу, від полярності струму та його густини. У середньому коефіцієнт наплавлення становить 11–18 $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$. Витрати дроту ($Q_{\text{др}}$) при автоматичному зварюванні становлять $Q_{\text{др}} = 1,1Q$, де Q – маса наплавленого металу.

Підготовчо-заключний час складається з часу, витраченого на ознайомлення та одержання завдання, інструктаж, встановлення режиму зварювання, підготовку та встановлення пристосувань.

Допоміжний час включає витрати часу на зачищення і огляд зварюваних кромки, завантаження флюсу, встановлення й зняття виробу, огляд швів та інші операції.

При автоматичному зварюванні на обслуговування робочого місця витрачається значно менше часу, ніж при ручному дуговому зварюванні. Підготовчо-заключний і допоміжний час на обслуговування робочого місця і відпочинок становить 10–13% основного часу зварювання.

23.4. НОРМУВАННЯ НАПЛАВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

При розрахунках норми основного часу на наплавлення використовують погодинну продуктивність, тобто враховують кількість наплавленого металу за 1 год.

Для ручного дугового наплавлення час наплавлення (x_n) однієї деталі (t_H) визначають за формулою:

$$t_H = \frac{60Q_H}{I_{\text{зв}} \alpha_H} K,$$

де $K = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує допоміжний час на технічне обслуговування і перерви на відпочинок; $\alpha_H = 12–18 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{год}$ – коефіцієнт наплавлення.

Допоміжний час становить 30–50% основний час і його встановлюють за допомогою хронометражного спостереження.

При наплавленні порицьковим дротом відкритою дугою коефіцієнт наплавлення дорівнює 13–16 г/А·год, витрати дроту на 1 кг наплавленого металу становлять 1,25–1,42 кг.

Нормою часу при наплавленні порошкоподібних матеріалів є погодити продуктивність, при якій наплавляють поверхню площею 60–100 см² при товщині шару 1,5–2 мм. При цьому маса наплавленого металу дорівнює 0,15–0,18 кг.

Контрольні запитання та завдання

1. Що передбачає технічне нормування зварювальних робіт?
2. Як виконують розрахунок основного часу зварювання?
3. Як визначають масу наплавленого металу?
4. Що називають коефіцієнтом наплавлення?
5. Як визначають норму часу на автоматичне і напівавтоматичне зварювання?
6. Які особливості нормування наплавлювальних робіт?
7. Визначте витрати електроенергії при наплавленні 0,5 кг металу.
8. Що входить до норми часу на виконання зварювальних робіт?
9. Як визначають основний час при зварюванні вертикальних, горизонтальних і стельових швів?
10. Як визначають силу зварювального струму?
11. Як визначають основний час при ручному дуговому зварюванні?
12. З чого складається допоміжний час при ручному зварюванні?
13. Які витрати електроенергії при зварюванні на змінному і постійному струмі?
14. Від чого залежить коефіцієнт наплавлення при напівавтоматичному зварюванні?
15. Яка тривалість підготовчо-заклюпочного й допоміжного часу при автоматичному зварюванні?
16. Як визначають основний час при ручному дуговому зварюванні?
17. Як визначають допоміжний час?
18. Що приймають за норму часу при наплавленні порошкоподібних матеріалів?

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ

24.1. ОСНОВНІ ВИДИ ТРАВМАТИЗМУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ

При виконанні зварювальних робіт можливий виробничий травматизм та шкідливий вплив зварювання і термічного різання на людину. Вони можуть призвести до тимчасової втрати працездатності, а при певних обставинах і до тяжких наслідків (табл. 24.1).

Таблиця 24.1

Основні види і причини травматизму при зварюванні та різанні

Вид травматизму і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид зварювання та різання
Ураження електричним струмом	Протікання через організм людини електричного струму силою 0,002–0,05 А може призвести до смерті	Електричні удари і травми	Зварювання всіх видів з використанням електроенергії
Дія променевої енергії дуги	Виділення електричною дугою потужних потоків видимих світлових і невидимих (ультрафіолетових та інфрачервоних) променів і їх дія на зетлаштовані органи зору і шкіру	Електроофтальмія, катаракти, опіки шкіри	Дугове зварювання в захисних газях і відкритою дугою
Дія токсичних речовин	Утворення токсичних газів, парів і аерозолів, які складаються із складів металів та їх домішок, а також продуктів згоряння і випаровування захисних покриттів основного металу (цинку, свинцю та ін.), компонентів покриттів електродів, флюсів і паст	Ураження органів, тривалі, онеміювання	Дугове зварювання покритими електродами і під флюсом, зварювання і різання плазмових і кольорових металів

Захисна таблиця 24.1

Вид громадської і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид захисання та рішення
Вибухонебезпека при роботах із застосуванням пилу, з емкостями під тиском, при ремонті посудин із під тиском	Утворення вибухових сумішей з повітрям і киснем Ударна дія, неправильне транспортування або експлуатація, перегрів газових балонів Утворення сумішей з повітрям, парів горючих рідин (у замкнутому просторі) вибухонебезпечних при дії високих температур	Наслідки вибухів Те ж Те ж	Термічне різання Зварювання дугове і в закритих газів, термічне різання Дугове зварювання, термічне різання
Теплові опіки	Дія на незахищену шкіру високої температури дуги, іскр, нагрітого металу, флюсу і т. д.	Опіки різного ступеня	Зварювання в захисних газів, термічне різання
Метеорологічні умови	Низька і висока температура повітря, сильні повітряні потоки, опаді	Переохолодження, перегрів, простудні хвороби	Зварювання, термічне різання на будівельних площадках
Пожарна небезпека	Дія на вогнинебезпечні матеріали відкритої дуги, іскр, розплавленого металу, флюсу тощо	Наслідки пожежі	Зварювання в захисних газів, термічне різання

Електричний струм (постійний і змінний) небезпечний для людини, а змінний струм у 3–5 разів небезпечніший від постійного.

Ступінь небезпеки залежить від умов включення людини в коло і напруги в ньому, оскільки сила струму, що протікає через організм людини, зворотно пропорційна опорі (за законом Ома); мінімальний розрахунковий опір людини становить 1000 Ом.

Розрізняють два види ураження електричним струмом: електричні удари і травми.

При електричному ударі уражаються нервова система, м'язи грудної клітки, серцевий м'яз, можливий параліч дихальних центрів і втрата свідомості. До електричних травм відносяться опіки шкіри, м'язів і кровоносних судин.

Ураження електричним струмом найнебезпечніше при включенні людини в двифазне коло, коли на неї діє повна напруга кола при порівняно великому опорі. Менш небезпечним є включення людини в однофазне коло, при якому коло замикається через землю (або повітря) при загальному збільшеному опорі.

Світлова радіація дуги діє на незахищені органи зору протягом 10–30 с у радіусі до 1 м від дуги, може викликати сильне подразнення, слізотечу і світлобоязнь. Тривала дія світла дуги за таких умов може призвести до більш тяжких захворювань (електрофтальмія, катаракта). Промени зварної дуги діють на органи зору на віддалі до 10 м від місця зварювання. Підвищена яскравість променів дуги спостерігається в захисних газів, особливо при зварюванні плавким електродом алюмінію в аргоні.

Шкідливі речовини (гази, пара, аерозоль) при зварюванні наділяються в результаті фізико-хімічних процесів, які відбуваються при плавленні і випаровуванні зварного металу, компонентів покриття електродів і зварних флюсів, а також за рахунок реакції газів під дією високої температури.

Повітряне середовище в зоні зварювання і оточуючому просторі може забруднюватися зварювальними аерозольми, які в основному складаються з оксидів зварювальних металів (заліза, марганцю, хрому, цинку, свинцю та ін.), газоподібних фтористих сполук, а також окислювачів вуглецю, азоту і озону.

Дія зварювального аерозолю може призвести до появи професійних інтоксикацій та швидкоконіозу, розвиток і тяжкість перебігу яких залежить від хімічного складу й концентрації шкідливих речовин.

Близько 80% виявлених випадків професійних захворювань зварників в Україні зумовлені дією зварювальних аерозолів на органи дихання.

Вибухонебезпека зумовлюється застосуванням при зварюванні й різанні кисню, захисних газів, балонів із стиснутими газами.

Вибухонебезпечні хімічні сполуки, що утворюються при ремонті резервуарів та іншої тари для зберігання горючих рідин, потребують спеціальних заходів для запобігання вибухам.

Теплові опіки, удари й поранення можуть виникнути внаслідок дії високої температури джерел зварювального тепла і значному нагріву металу при зварюванні й різанні, особливо при обмеженій можливості огляду робітником оточуючого простору при виконанні робіт із використанням цитків, масок та окулярів із світлозахисним склом.

Несприятливі кліматичні умови діють на зварників, різальників, будівельників більше половини року, оскільки їм доводиться працювати переважно на відкритому повітрі. Підвищена пожежна небезпека при зварюванні й різанні зумовлюється тим, що температура плавлення металу перевищує 1 000°C, а різкі горючі речовини: дерево, шпир, тканини та інші легкозаймисті матеріали загоряються при температурі 250–400°C.

Зварникам і різальникам, зайнятим у будівництві, часто доводиться працювати поблизу діючих будівельно-монтажних машин, у важкодоступних місцях на тимчасових підмостках, на великій висоті, в котлованах, траншеях, що значно збільшує небезпеку травматизму.

24.2. ЗАХОДИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

1. Необхідно надійно заземлити корпуси зварювальних апаратів (установок) затискачі вторинного кола зварювальних трансформаторів, призначені для підключення зворотного проводу; зварні роботи й конструкції.

2. Не торкатися незахищеними руками (без діелектричних рукавиць) струмоносних частин зварювальних установок, а також проводів без ізоляції або з пошкодженою ізоляцією.

3. Перед початком роботи слід перевірити (збільшити зварювальних проводів, зварювальних інструментів та обладнання, а також ідентифікувати усіх контактних електриків зварювального кола.

4. При тривалих перервах зварювального процесу відключити джерело зварювального струму.

5. Металеві конструкції й трубопроводи (без гарячої води або вибухонебезпечного середовища) рекомендується заземлювати у якості зворотного проводу зварювального кола тільки у випадках, коли їх зварюють. Забороняється використовувати в якості зворотного проводу зварювального кола контури заземлення, труби санітарно-технічних пристроїв, металоконструкції закритих будів і технологічного обладнання.

6. При прокладанні зварювальних проводів і їх переміщенні не допускати пошкодження ізоляції та контакту проводів з водою, маслом, сталевими канатами, руками (плантами) і трубопроводами й горючими газами й кінцем, а також з причини трубопроводами.

7. Гнучкі проводи електричного керування зварювальної установки при значній їх протяжності для захисту від пошкоджень розміщують у тумоні або брезентові рукави. При необхідності зварювальний провід додатково обмотують брезентовою стрічкою.

8. Надійно закривати металевий корпус осцилятора, конструкція якого повинна забезпечувати автоматичне відключення струму при відкриванні його дверей.

9. Не ремонтувати зварювальне обладнання та установки, які знаходяться під напругою.

10. При зварюванні в особливо небезпечних умовах (усереднені металевих смістостей, трубопроводів, у тунелях, на висотках) слід:

– електрозварювальні установки оснащувати пристроями автоматичного відключення напруги допустимого зоду або обмеження його до напруги 12 В з витримкою не більше 0,5 с;

– надіати допоміжного робітника, який повинен знаходитися поза смістю для спостереження за безпекою роботи зварника. Зварника видають лише із штурком, кінцем якого довжиною не менше 2 м повинен бути в руках допоміжного робітника.

11. Не допускати до дугового зварювання або різання зварників у мокрих рукавицях, взутті та спецодежі.

При ураженні електричним струмом необхідно:

– терміново відключити струм найбільш швидким способом або перенести потерпаючого від струмоведучих частин, використовуючи сухі підручні матеріали (дешаку товщи), після чого надіти його на теплу підстилку і по можливості зібрити;

– негайно викликати медичну допомогу, враховуючи, що затримка понад 5–6 хв може призвести до несприятливих наслідків;

– якщо постраждалий втратив свідомість, то його негайно роздягають, з рясної порожнини видаляють сторонні предмети, відтискають язик (щоб не закладен) і негайно приступають до виконання штучного дихання, продовжуючи його до прибуття лікаря або відновлення нормального дихання.

24.3. ЗАХИСТ ВІД СВІТЛОВОЇ РАДІАЦІЇ

Для захисту очей і обличчя зварника від світлової радіації електричної дуги застосовують рючі шитки, маски або каски, які виготовляються відповідно до вимог ГОСТу 124.035.

Ці вимоги регламентують захисні характеристики (відсутність проникнення випромінювання дуги, стійкість матеріалу корпусу до бризок розплавленого металу, питомі електричні міцність матеріалу корпусу, опір ізоляції каски), а також масу, габаритні розміри й міцність шитки. Найважливішим і відновідальним елементом шитки є світлофільтри, призначені для захисту очей від ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного випромінювань. Світлове випромінювання дуги повинне бути ослаблене світлофільтрами в 10^2 – 10^6 разів. При цьому світлофільтри повинні мати достатню величину пропускання у видимій області спектра, що необхідно для спостереження за місцем зварювання.

Найі широкі застосовують світлі світлофільтри серії С, які поділяють на 13 класів. Вони забезпечують захист очей від випромінювань при зварюванні та струмах від 5 до 1000 А. Вибирають світлофільтри залежно від виду зварювання і сили струму відповідно до ГОСТу 21-6-87 (табл. 24.2).

Шитки випускають двох видів: із світлофільтром для нормального огляду (розмір 52×102 мм) і збільшеного (90×120 мм). Від парити, пропалів та інших пошкоджень зони світлофільтр захищає скло товщиною до 2,5 мм. Усереднені також установлюють піклядку з опрєксь товщиною не більше 2 мм.

Захисні рючі й наголовні шитки для електрозварників із світлофільтрами для нормального та збільшеного огляду призначені для зварювання швів складної конфігурації (перехід із нижнього положення у стельове, вертикальне та в зворотному напрямку, для зварювання з підвищеною швидкістю або у важкодоступних місцях).

Таблиця 24.2

Рекомендовані світлофільтри при дуговому зварюванні

Спосіб зварювання	Сила струму, А, залежно від класу світлофільтра											
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12
Покритими електродами сталі, чавуну й міді	-	-	25-30	35-60	60-100	150-275	275-350	350-600	600-700	700-900	900	-
Плазменні електроди в інертних газах: сталі	-	-	20-30	30-40	40-60	60-100	100-200	200-300	300-500	500-700	700-900	900
легких сплавів	-	-	-	15-30	30-50	50-80	80-100	100-275	275-350	350-600	600-900	900
Вольфрамівні електроди в інертних газах сталі і легких сплавів	-	-	10-15	15-20	20-40	40-60	60-100	100-175	175-275	275-300	300-400	400-600
Плазменні електроди у вуглекислому газі сталі	20-40	60-100	100-150	150-175	175-300	300-400	400-600	600-700	700-900	900	900	900

Для захисту очей робітників застосовують окуляри за ГОСТом 124.013. У випадках, коли зварювання можна здійснювати без захисного щитка або для спостереження за процесом при механізованому (автоматичному) зварюванні, використовують захисні окуляри із світлофільтрами за ГОСТом 21-6. Для захисту очей допоміжних робітників застосовують окуляри В-1 і В-2.

Широко застосовують щитки з автоматичним затемненням, у яких встановлено світлофільтр із змінним пропусканням світла. Проникливі дії засновані на зміні коефіцієнта пропускання (прозорість фільтра) світлового випромінювання при завалянні зварної дуги. Фільтр має три робочих стани: відкрите, закрите й проміжне. Забороняється зварювання «всліпу» і при частій зміні положення щитка при званні електродів, контролю шва.

Робітників від світлової радіації дуги захищають обладнанням кабін для зварників (при зварюванні в стаціонарних умовах і порівняно невеликих розмірах зварних виробів); переносними щитами або ширмами з нетермічних матеріалів (при неперервному робочому місці зварника і великих виробів).

Для послаблення контрасту між яскравістю світла дуги, поверхнею стін цеху (або кабін) і обладнання їх фарбують у світлі тони з розсіюваним відображенням світла, а також забезпечують хороше освітлення спочиваючих предметів.

При ураженні очей світловою радіацією дуги необхідно негайно звернутися до лікаря, у випадку відсутності швидкої медичної допомоги очі промивають слабким розчином потвюї соди.

24.3.1. Спеціальний одяг для зварювання

Виробництво спеціального одягу для зварників і його раціональне використання є однією з важливих умов забезпечення безпеки праці, профілактики травматизму та професійних захворювань.

Для захисту від випромінювання, бризок розплавленого металу, механічних пошкоджень, переохолодження при роботі на відкритому повітрі в холодну пору року зварники використовують спеціальний одяг (табл. 24.3).

Таблиця 24.3

Вибір спеціального одягу залежно від виду зварювання та умов праці

Вид зварювання	Умови праці	Призначення одягу	Рекомендований одяг
Покритими електродами, поришковим дротом у вуглекислому газі	Умеренні замкнуті простори із попереднім підігрівом виробів до 400°C	Захист тіла від підвищених температур та протекливого розбрикування розплавленого металу	Термоізоляційний костюм у комплекті з охолоджувальними елементами
	Те ж з нагрівом підігрівом до 150°C	Захист передньої частини тіла від підвищених температур, інтенсивного розбрикування металу	Брезентовий костюм з водонепроникним просочуванням із захисними накладками, виготовленими з іскристійкого й термостійкого матеріалу в комплекті з охолоджувальними елементами
	У виробничих приміщеннях	Захист тіла від інтенсивного розбрикування металу в умовах нормального мікроклімату	Брезентовий костюм з водонепроникним просочуванням та з захисними накладками із епілепа (ТУ 17-06-123-85)
Те ж у холодну пору року	Те ж в умовах помірних температур повітря	Брезентовий костюм з водонепроникним просочуванням і захисними прокладками із іскристійкого матеріалу з помірною покриттям в комплекті з утеплюючим прокладками залежно від кліматичних зон країни (ТУ 17-06-122-83; 100 Б)	

Вид зварювання	Умови праці	Призначення одягу	Рекомендований одяг
В інертних газах	У виробничих приміщеннях	Захист передньої частини тіла і обличчя від електромагнітних випромінювань оптичного діапазону (ультрафіолетового) і незначного розбризкування металу	Костюм із вогнетривого брезенту із поліетиленовими накладками із глянцю феллою, стійкої проти опромінення; костюм з фелло-бавовняної тканини (ТУ 17-08-325-91); килет із фелло-бавовняної тканини (ТУ 17-08-326-91)
Під флюсом	У виробничих приміщеннях	Захист від напівпрацю і випадкового розбризкування гарячого шлаку та овалів	Брезентовий костюм з водонепроникним просочуванням (ТУ 17-08-237-85)

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона на основі вивчення умов праці зварників при співробітництві з підприємствами НДІ та організаціями розроблено й впроваджено сподобат різного функціонального призначення. Застосування такого одягу дозволяє забезпечити зручність і безпеку роботи, значно скоротити кількість простудних захворювань і випадків травматизму.

24.4. ЗАХИСТ ВІД ШКІДЛИВИХ ГАЗОВИХ ВИДІЛЕНЬ, ПИЛУ ТА АЕРОЗОЛЕЙ

Для захисту зварників від впливу шкідливих газових виділень, пилу та аерозолей необхідно дотримуватися таких заходів:

1. Постійно знижувати рівень на організм зварників і резальників шкідливих виділень та аерозолей; застосовувати місцеву й загальнообмінну вентиляцію; організувати подачу в зону дихання чистого повітря, а також зменшувати кількість малотоксичних матеріалів і процесів (наприклад, використовувати електроли з покриттям рутилового типу, зварювання штучними електродами замість на зварювання у вуглекислому газі або порошковим дротом і т. п.);

2. Уловлювати шкідливі для організму людини речовини, що входять до складу зварювальних аерозолей, за допомогою фільтро-вентиляційних агрегатів (ФВА). При цьому спеціальні повітряно-приймальні пристрої (сопла) встановлюються на відстані 30–50 см від зварної дуги. При розташуванні відсмоктувального сопла діаметром 125–160 мм над зварною дугою для ефективного вловлювання потрібно з місця зварювання видаляти 600–1000 м³

повітря за 1 год. У випадку безповного відсмоктування, що часто відбувається конфігурацією зварної конструкції, для ефективного вловлювання такої кількості повітря недостатньо. Тому сола слід максимально наблизити до зварної дуги, що не завжди можливо. Для підвищення ефективності вловлювання зварювальних аерозолей розроблено оригінальну конструкцію пристрою з активною торкровою насадкою для відомчого ФВА «Шмаль-1500», продуктивність вловлювання повітря становить 1500–300 м³/год, радіус обслуговування не більше 3 м;

3. Для видалення аерозолей неперитні замкнуті емкостей і в важкодоступних місцях застосовують переносний витяжний пристрій «Ланка», який забезпечує об'єм видаленого повітря до 1200 м³/год.

4. У зварювальному виробництві широко використовуються підйомно-поворотні витяжні пристрої «Ланка», «Грум», «Сирт». Їх конструкції дозволяють максимально наблизити повітроприймач до зварної дуги і тим самим забезпечити високу ефективність вловлювання зварювальних аерозолей (не менше 85%);

5. При зварюванні та різанні на постійних місцях, у цехах виробів середніх розмірів рекомендується використовувати місцеву вентиляцію. При роботі на нефіксованих місцях і при великих розмірах виробів слід застосовувати місцеву вентиляцію з руховим відсмоктуванням (витяжні шафи, похиле вальцю-шіпінне відсмоктування та столи з нижнім підпрістінчастим відсмоктуванням).

В Україні до 80% виявлених випадків захворювань зварників викликані дією зварювальних аерозолей на органи дихання. Пріоритетними напрямками програм захисту зварників від дії різних виробничих факторів і захист органів дихання. Заходи безпеки при дії на організм робітника шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні наведені в таблиці 24.4.

За даними японського Інженерного товариства, вже на середині 80-х років ХХ ст. майже 85 виробничих компаній різних галузей промисловості отримали від зварників застосування захисних масок і респіраторів.

Усім вищезгаданим, які ставляться до респіраторів, відповідає респіратор «Світлок», розроблений і виготовлений Фелло-змішаним інститутом захисту оточуючого середовища і людини Міністерства освіти і науки України та Національної Академії Наук України (Одеса).

За рахунок розташування на внутрішній поверхні фільтруючого корпусу відповідних протисадових фільтрів забезпечуються вловлювання фтористого водню, фторидів еремція, інших кислот газів, розкладання озону, окислення СО₂, адсорбція парів фарб і розчинників. Крім того, можна також адаптувати респіратор до різних зварювальних процесів.

Температурний діапазон становить мінус 30°–плюс 50°С.

Заходи безпеки при дії на організм робітника шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні

Шкідливі речовини, умови утворення	Симптоми отруєння	Заходи профілактики
<i>Оксиди марганцю</i>		
Зварювання і різання шліфувальними шліфмашинами, зварювання електродом з руднокислим покриттям ЦМ-7, ОММ-5	1-а стадія – головний біль, слабкість, нуманість, нуднокружіння, біль в очіювках; 2-а і 3-я стадії – хронічний стан, поява початкових форм органічного ураження центральної нервової системи	Ефективна вентиляція робочого простору. Застосування електродів та руднокислим покриттям (АНО-4, МР-3 та ін.)
<i>Фтористі солюми</i>		
Зварювання під флюсом ОСЦ-45	Соплякий присмак у роті, нуднокружіння	Застосування флюсів АН-348А, ФЦ-9. Посилення вентиляція робочого простору
Зварювання електродом з фтористотетрафторидним покриттям	Після закінчення роботи ознаки: підвищення температури, біль у грудях, блювота	
<i>Оксиди нікелю</i>		
Зварювання у вуглекислотному газі в замкнутих просторах	Підвищення чутливості, головний біль, нудота, блювота, втрата свідомості	Посилення вентиляція робочого простору. Підведення чистого повітря в зону дихання зварника
<i>Оксид цинку</i>		
Зварювання і різання міжшляковими електродом і окислювальних стадій	Лихорадний синдром – соплякуватий присмак у роті, втрата апетиту, спраць, підвищення втомлюваність, сухий кашель. Приступі лихоманки – ознаки підвищення температури, нудота, блювота	Присаджувальний метал у вигляді дроту АН-62-05. Посилення вентиляція, застосування ресираторів. Зварювання окислювальної стадії руднокислим електродом або у вуглекислотному газі
<i>Оксид свинцю</i>		
Зварювання (варення) спонджу, зварювання і різання металу, покритого свинцевими фарбами	Металевий присмак у роті, втрата свідомості й сил. Поява свинцевої (лілово-сірої) облямівки навколо осей після 2,5-3,5 міс, безперервної роботи. Прикладні форми – коліки, скляний головний біль	Посилення вентиляції, видалення фарби із зони нагріву. Дотримання чистоти шкіри, одягу. Праймання їжі у спеціально облямкованих місцях

24.5. ЗАПОБІГАННЯ МОЖЛИВИМ ВИБУХАМ

Незупиняне дотримання профілактичних заходів щодо можливих вибухів дає можливість уникнення їх і непередбачуваних аварій та нещасних випадків.

Профілактичні заходи щодо можливих вибухів

1. Балони з газом для зварювання необхідно зберігати в спеціальних приміщеннях або під накриттям у вертикальному положенні та закріпленні. Заборонено зберігати кисневі балони разом з горючими газами. Не допускати нагріву балонів сонячним промінням.

2. Забороняється користуватися редукторами з несправними манометрами або з терміном їх перевірки, який вичіпав.

3. Необхідно старанно оберігати редуктори, клапани та вентилі балонів від забруднень.

4. Забороняється зварювання й термічне різання при ремонті ємкостей, посудин, які знаходяться під надлишковим внутрішнім тиском.

5. Ємкості, які використовувалися під горючі рідини, ремонтувати тільки після дво- трикратного промивання водним розчином каустичної соди або триназрійфосфату, кін'єтичним або продуванням гарячою паром.

6. Ремонт ємкостей після зберігання авіаційного бензину або етеру (навіть із надлишками палива) допускається за умови створення в них вибухонебезпечного газового середовища шляхом заповнення ємкості вуглекислим газом, азотом або аргоном під тиском не більше 0,01 МПа (з таким розрахунком, щоб вміст кисню в такій газовій суміші не перевищував 5%).

24.6. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ВІД ТЕПЛОВИХ ОПІКІВ

1. Для попередження теплових опіків електрозварник повинен працювати в брезентовому спецодязі та рукавицях; у черевиках з боківими застібками, а штани носити тільки зав'язані. Кишені куртки слід закривати клапанами, а кіни рукавів зав'язувати стрічками. Голову накривають головним убором або фіброволовкою каскою.

2. Слідкувати за станом спецодязу, враховуючи, що нормами його видачі електрозварникам передбачаються термини носіння.

3. Дотримуватися обережності при роботі з нагрітим металом, шлаком, огарками електродів. При збиранні штабової кірки (при зварюванні під флюсом) захищати очі окулярами з простим склом.

4. Не допускати перестрів електродотримачів і пальників для автоматичного зварювання, а також іншого зварювального інструменту, який знаходиться під струмом.

5. При сталевому зварюванні користуватися азбестовими рукавицями і швидко їх заміняти.

6. При гарячому зварюванні чашуву використовувати азбестовий фартух, а також закривати азбестом нагріті частини виробу, крім місця зварювання.

7. При електрошлаковому зварюванні для запобігання викидам і витіканню рідкого металу та впади постійно слідкують за рівнем ванни і станом системи охолодної води.

8. Під час зварювання категорично забороняється зливатися підлозником, накладкою або формою.

24.7. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РОБІТ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ НА БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ ПЛОЩАДКАХ

1. Зварювальникам (різальникам) необхідно вивчати роботи в фібробетонних касках і при необхідності використовувати брезентові напечення для захисту шиї й плечей.

2. Для перенесення інструмента, електроди та інших зварювальних матеріалів а також для огарків використовувати спеціальні інструментальні ящики або циліндричні печалі з негорючого матеріалу. Не допускати розкидання електродних огарків.

3. На висоті працювати із залобіжним поясом, прикріплюватися там до перухомах і міцних конструкцій.

4. Виконувати роботи по зварюванню і різанню на висоті з ринтування, підмосток і колісок тільки після перевірки цих пристроїв майстром або виконавцем робіт. Ринтування й підмостки шириною не менше 1 м повинні бути суцільними, з міцними та стійкими загорюваннями. Як вилучення допускаються короточасні роботи з приставних драбин, з упором у вигляді металевих витів, гумових наконечників та інших тормозних пристроїв. Верхні кінці драбини закріплювати до інших перухомах конструкцій, а також передбачити заходи проти випадкового зсуву драбин.

5. При проведенні робіт у декілька другів необхідно передбачити накривки або настили для захисту робітників, які працюють нижче, від іскор і крапель розплавленого металу й впади, а також від падіння інструмента та інших предметів.

6. Під час дощу роботи на відкритому повітрі необхідно вести тільки при наявності відповідних захисних пристроїв (напів, даники).

7. При ожеледній вітрі понад шість бадів виконувати зварювання або різання на висоті не дозволяється.

8. Забороняється проводити роботи по зварюванню та різанню на відкритому повітрі при температурі нижче -30°C .

9. Взимку зварники й різальники повинні мати можливість одягнутися принаймні 10 хв через кошту робіт.

24.8. ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ

1. При проведенні робіт із зварювання і різання на будівельній площадці необхідно завчасно повідомити осіб, які відповідають за пожежну безпеку.

2. Роботи місця зварювання (різальників) слід очистити від дерев'яних стружок, паклі, горючого сміття в радіусі не менше 10 м, а також видалити із цієї зони інші вибухо- та вогнебезпечні речовини.

3. Обережно переміщувати зварювальні проводи. При цьому особливо небезпечним є іскріння проводів (при недостатній або порушеній ізоляції) у місцях, віддалених від зварювання, або недоступних для спостереження.

4. Заборонено робітникам переміщуватися із заваленим палиником або різакон за межу робочого місця, а також підніматися по сходах, ринтуваннях тощо.

5. При зварюванні та різанні в небезпечних зонах обладнують спеціальні пожежні пости.

6. При тривалій або концентрованій дії іскор і крапель розплавленого металу, що утворюються при зварюванні й різанні, дерев'яні настили та підмостки необхідно захищати від затоплення листовим залізом, азбестом, а в спеку поливати водою.

7. Після закінчення зміни уважно обстежують роботу зону на наявність відкритого вогню, нагрітків до високої температури предметів, а також тліючих горючих матеріалів, сміття.

24.9. ОХОРОНА ПРАЦІ ЗВАРНИКІВ І РІЗАЛЬНИКІВ

1. Існуюче законодавство з питань охорони праці зварників і різальників, як й інших робітників, передбачає комплекс правових, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, нацаралених на забезпечення здорових і безпечних умов праці.

Відповідальність за організацію та стан охорони праці й техніки безпеки покладено на адміністративно-технічний персонал виробничих підрозділів підприємств, які проводять зварювальні роботи. За охорону праці відповідають начальники виробництва, майстри, фахівці з охорони праці.

2. Державний контроль за виконанням норм і правил з охорони праці здійснює інспекція Держтехнаглядохорони праці, інспектори.

За дотриманням санітарних умов праці слідкує Державна санітарна інспекція; за нормами пожежної охорони – Державна інспекція пожежної охорони.

3. Згідно з діючими положеннями, до зварювальних робіт усіх видів допускаються особи віком 18 років і старші.

Зварювання і різання можуть виконувати робітники, які пройшли спеціальне навчання. Додатково перевіряють знання правил охорони праці; результати оказаної перевірки записують в журнал встановленої форми.

Повторний інструктаж проводить адміністрація щоквартально і перед кожною новою роботою.

4. Для робітників, зайнятих зварюванням і різанням, законодавством передбачено додаткові відпустки різних термінів залежно від конкретно виконаної роботи.

5. Зварникам і різальникам, згідно із законодавством, безоплатно надаються спеціалізовані спецквартальні та запобіжні пристрої.

6. До зварювання і різання на висоті допускаються робітники, які пройшли додатковий медогляд і мають посвідчення про знання спеціальних методів вертикальних робіт.

7. Жінки до проведення зварювальних робіт на висоті і в замкнутих просторах не допускаються.

8. Зварники, які працюють у замкнутих просторах або зайняті зварюванням кольорових металів, повинні кожного року проходити медичний огляд з обов'язковою рентгенографією грудної клітки і відповідними лабораторними дослідженнями.

9. Кожен зварник (різальник) повинен володіти спеціальними знаннями та неухильно виконувати існуючі вимоги щодо безпечного виконання робіт, а також дотримуватися норм і умов пожежної безпеки.

Контрольні запитання та завдання

1. Яка величина електричного струму є небезпечною для людини?
2. Назвіть види ураження електричним струмом.
3. До чого призводить дія зварювального аерозолю?
4. Назвіть основні заходи забезпечення електробезпеки.
5. Вкажіть послідовність дій при ураженні електричним струмом.
6. За табл. 34.2 виберіть світлофільтр для зварювання швабру при струмі зварювання 300 А, та для зварювання вольфрамовими електродом сталі при струмі зварювання 350 А.
7. Що використовують для зниження дії на організм зварників шкідливих видалень і аерозолів?
8. Для чого використовують респиратори?
9. Вкажіть способи запобігання вибухам.
10. Охарактеризуйте заходи профілактики теплових опіків зварників.
11. Назвіть основні правила безпечного ведення зварювальних робіт на будівельно-монтажних площадках.
12. Назвіть основні протипожежні заходи при зварюванні.
13. На кого покладається відповідальність за охорону праці на підприємстві?
14. Хто допускається до виконання зварювальних робіт?

ДОДАТКИ

Додаток 1

Кольори міцності при нагріванні сталі

Температура, °С	Колір свідчення при нагріванні
1300	Світло-білий
1200	Яскраво-жовтий
1100	Світло-оранжевий
1000	Оранжевий
900	Червоний
850	Яскраво-червоний
800	Вогненно-червоний
700	Темно-вишніво-червоний
600	Темно-червоний (початок свідчення)

Додаток 2

Визначення хімічного складу сталі за допомогою проби на іскру

Метал	Колір і характеристика іскрового пучка
Низьковуглецева сталь (до 0,2% С)	Світло-жовті рівні світлові лінії, продовжувати трикутні іскри
Середньовуглецева сталь (0,5% С)	Світло-жовті світлові пучки, розгалужені з рідким утворенням маленьких зірочок
Вуглецева інструментальна сталь (0,9% С)	Світло-жовті іскри з чисельними променистими зірочками
Тверда вуглецева інструментальна сталь (1,2% С)	Яскраві пучки іскор складаються з великих розгалужених часті розгалужуваних зірочок
Марганцева сталь (10-14% Mn)	Біло-жовті великі пучки променів, сильно розгалужені нерівномірно до ліній іскор
Швидкорізнальна сталь (10% W, 4% Cr, 1% С)	Темно-червоні перериві лінії іскор, розгалужені на більш великі зірочки

Множинки і приставки для утворення похідних одиниць СІ

Множина	Приставка	Позначення	
		російське	міжнародне
10^3	гекто	г	H
10^6	кіло	к	K
10^9	мега	м	M
10^{12}	гіга	г	G
10^{15}	тера	т	T
10^{18}	пета	п	P
10^{21}	екса	е	E
10^{24}	зета	з	Z
10^{27}	єта	є	Y
10^{30}	єта	є	Y
10^{33}	єта	є	Y

Одиниці вимірювання та перевідні коефіцієнти

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Температура	кельвін	К	$^{\circ}\text{C} - \text{TK} - 273,15$
Маса	грам	г	$1 \text{ фунт} = 409,5 \text{ г}$ $1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$
Довжина	метр	м	$1 \text{ А}^{\circ} = 10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм (А-ангстрем)}$ $1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм}$ $1 \text{ фут} = 30,48 \text{ см}$
Об'єм, місткість	кубічний метр	м^3	$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$
Час	секунда	с	$1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$; $1 \text{ год} = 3\,600 \text{ с}$ $1 \text{ доба} = 86\,400 \text{ с}$
Сила	ньютон	Н	$1 \text{ кгс} = 9,807 \text{ Н}$
Ударна діяльність	—	Дж/см ²	$1 \text{ Дж/см}^2 = 0,0807 \text{ кгс/см}^2$
Робота, енергія, кількість теплоти	джоуль	Дж	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Нм}$ $1 \text{ ккал} = 9,807 \text{ Дж}$ $1 \text{ кал} = 4,185 \text{ Дж}$
Потужність	ват	Вт	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ $1 \text{ ккал} = 733,5 \text{ Вт}$

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Тиск, напруження, гранична міцкість	паскаль	Па	$1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2$ $1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,807 \text{ МПа}$ $1 \text{ кгс/см}^2 = 98,07 \text{ КПа} = 0,09807 \text{ МПа} = 105 \text{ Па} = 1 \text{ бар}$ $1 \text{ мм вод.ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 = 9,807 \text{ Па}$ $1 \text{ мм рт.ст.} = 133,3 \text{ Па}$
Сила струму	ампер	А	
Напруга	вольт	В	
Частота	герц	Гц	
Опір	ом	Ом	

Фізичні властивості неметалів

Неметали	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$	Температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$	Густина, г/см^3	Умовні позначення в марках металів і сплавів	
				чорних	кольорових
N азот	-210	-195,5	1,0	A	
B бор	2075	3860	3,33	P	
Br бром	-7,3	59	3,12		
H водень	-259,4	-252,8	—		
C вуглець	3500	—	3,51 (алмаз)	У	
I йод	137	183	4,93		
O кисень	-218,8	-183	1,12		
Si кремій	1415	2600	2,4	C	Kp(K)
Se селен	170	688	4,6		
S сірка	112,8	444,5	1,96		
Te телур	453	1012	6,25		
P фосфор	44,2	280	1,82	П	Ф
Cl хлор	-101,3	-34	1,57		
F фтор	-223	-188,1	1,11		

Властивості хімічних елементів

Елемент	Символ	Укрупнене позначення в періодах металів і сплавів		Температура, °C		Густина, г/см ³	Теплопровідність, Вт/м·K	Теплоємність, Дж/кг·K	Питомий електричний опір, мкОм·м	Температурний коефіцієнт		Твердість, Нв 107 Па	Границя міцності, б·107 Па
		чорних	кольорових	плавлення	зміцнення					електроопору, 10 ⁻³ /K	лінійного розширення, 10 ⁻⁶ /K		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Срібло	Ag	-	Ср	960,8	2163	10,5	425,5	234	0,0163	4,1	19,1	25	18
Алюміній	Al	Ю	А	660	2520	2,70	2,38	917	0,0267	4,5	23,5	15	5
Золото	Au	-	За	1063	2860	19,3	315,5	130	0,0220	4,0	14,1	25	14
Бачити	Ba	-	-	729	2190	3,5	-	285	0,60	-	18	-	-
Берилій	Be	Л	В	1287	2470	1,85	194	2052	0,033	9,0	12	-	-
Висмут	Bi	-	-	271	1504	9,80	9	121,8	11,7	4,6	13,4	9,4	1,7
Кальцій	Ca	-	-	839	1484	1,54	125	624	0,037	4,57	22	-	-
Церій	Ce	-	-	798	3430	6,75	11,9	188	0,854	8,7	8	-	-
Кадмій	Cd	Ка	Ка	321	767	8,64	103	233,2	0,073	4,3	31	20	6,8
Кобальт	Co	К	К	1492	2930	8,9	96	427	0,0634	6,0	12,5	-	-
Хром	Cr	Х	Х	1860	2680	7,1	91,3	461	0,132	2,14	6,5	112	41
Цинк	Zn	-	-	285	670	1,87	36,1	234	0,20	4,8	97	-	-
Мідь	Cu	Д	М	1083,4	2560	8,96	397	386	0,0169	4,3	17	45	23
Залізо	Fe	Ж	Ж	1536	2860	7,84	78,2	456	0,101	6,5	12,1	-	-

Продовження додатку 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Галій	Ga	-	-	29,7	2205	5,91	41,0	377	-	-	18,3	2,5	3,5
Германій	Ge	-	-	937	2830	5,32	56,4	310	-890	-	5,75	-	-
Тантал	Ta	-	-	2227	4500	13,1	22,9	147	0,332	4,4	6,0	145	42
Ртуть	Hg	-	-	38,87	357	13,55	8,65	138	0,959	1,0	61	-	-
Іттрий	Y	-	-	1564	2970	7,3	80,0	243	0,086	5,2	24,8	0,9	0,3
Ірідій	Ir	-	-	2454	4390	22,4	146,5	130,6	0,051	4,5	6,8	212	22
Кадмій	Kd	-	-	63,2	739	0,86	104	754	0,068	5,7	83	-	-
Літій	Li	-	-	181	1342	0,534	76,1	3517	0,0929	8,35	56	-	-
Магній	Mg	Ш	Мр	649	1090	1,74	155,5	1036	0,042	4,25	26,0	30	12
Марганець	Mn	Г	Му	1244	2060	7,4	7,8	686	16,0(а)	-	23	-	-
Молибден	Mo	М	М	2615	4610	10,2	137	251	0,057	4,35	5,1	181	0,8
Натрій	Na	-	-	97,8	883	0,97	128	1227	0,047	5,5	71	-	-
Ніобій	Nb	Б	Нб	2467	4740	8,5	54,1	268	0,100	2,0	7,2	73,5	34
Нікель	Ni	Н	Н	1455	2915	8,9	68,5	452	0,069	6,8	13,3	90	36
Оксид	Ox	-	-	3030	5000	22,5	87,5	130	0,088	4,1	4,57	350	-
Самарій	Sm	-	-	327,4	1750	11,68	34,9	129,8	0,206	4,2	29,0	5	1,4
Паладій	Pd	-	-	1552	2960	12,0	75,5	247	0,108	4,2	11,0	40	14
Платина	Pt	-	-	1769	3830	21,45	71,5	134,4	0,1058	3,92	9,0	30	15
Радій	Ra	-	-	700	1500	5	-	-	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Рубідій	Rb			38,8	688	1,53	38,3	336	0,121	4,8	9,0	-	-
Реній	Re			3180	5690	21,0	47,6	138	0,187	4,5	6,6	200	111
Родій	Rh			1960	3700	12,4	149	243	0,047	4,4	8,5	196	55
Рувенді	Ru			2310	4120	12,2	116,3	234	0,077	4,1	9,6	216	30
Сурма	Sb		Cy	630,5	1590	6,68	23,8	209	0,401	5,1	8-11	-	-
Кремній	Si	C	Kp	1412	3270	2,34	138,5	729	10-10000	-	7,6	-	-
Олово	Sn	O		231,9	2625	7,3	73,2	22,6	0,126	4,6	23,5	5,1	27,5
Стронцій	Sr			770	1375	2,6	-	737	0,23	-	100	-	-
Тантал	Ta	Tt		2980	5570	16,6	57,55	142	0,135	3,5	6,5	121	39
Торій	Th			1735	4290	11,5	49,2	100	0,14	4,0	11,2	-	-
Титан	Ti	T	Tu	1667	3285	4,5	21,6	528	0,54	3,8	8,9	207	45
Талій	Tl			304	1473	11,85	45,5	130	0,166	5,2	30	2,6	1,2
Ванадій	V	Ф	Box	1902	3410	6,1	31,6	498	0,196	3,9	8,3	63	22
Цинк	Zn		П	419,5	911	7,14	119,5	394	0,0596	4,2	31	40	14
Вольфрам	W	В	В	3400	5555	19,3	174	138	0,054	4,8	4,5	250	147
Цирконій	Zr			1862	4400	6,49	22,6	289	0,44	4,4	5,9	67	22

Орієнтовні співвідношення значень твердості, визначеної різними методами

HV	HB	HRC	HRB	HRA	HV	HB	HRC	HRB	HRA
1234	-	72	-	84	228	228	30	100	61
1116	-	70	-	83	222	225	19	99	60
1022	-	68	-	82	217	217	17	98	60
941	-	66	-	81	213	212	15	97	59
868	-	64	-	80	208	207	14	95	59
804	-	62	-	79	201	201	13	94	58
746	-	60	-	78	197	197	12	93	58
694	-	58	-	78	192	192	11	92	57
650	-	56	-	77	187	187	9	92	57
606	-	54	-	76	183	183	8	90	56
587	-	52	-	75	179	179	7	90	56
551	-	50	-	74	174	174	6	89	55
534	477	49	-	74	171	170	4	88	55
502	461	48	-	73	166	167	3	87	54
474	444	46	-	73	162	163	2	86	53
460	429	45	-	72	159	159	1	85	53
435	413	43	-	72	155	156	-	84	-
423	401	42	-	71	152	152	-	83	-
401	388	41	-	71	149	149	-	82	-
396	375	40	-	70	148	146	-	81	-
386	363	39	-	70	143	143	-	80	-
367	352	38	-	69	140	140	-	79	-
344	341	36	-	68	138	137	-	78	-
334	331	35	-	67	134	134	-	77	-
320	321	33	-	67	131	131	-	76	-
311	311	32	-	66	129	128	-	75	-
303	302	31	-	66	127	126	-	74	-
292	293	30	-	65	123	123	-	73	-
285	285	29	-	65	121	121	-	72	-
278	277	28	-	64	118	118	-	71	-
270	269	27	-	64	116	116	-	70	-
261	262	26	-	63	115	114	-	68	-
255	255	25	-	63	113	111	-	67	-
249	248	24	-	62	110	110	-	66	-
240	241	23	102	62	109	109	-	65	-
235	235	21	101	61	108	107	-	64	-

**Водогазопровідні труби. Розміри (мм) і маса (кг)
водогазопровідних труб найвживаніших типорозмірів**

Умовний прохід, D_u	Зовнішній діаметр, D_e	Легкі		Звичайні		Підсилені	
		товщина стілки	маса 1 м	товщина стілки	маса 1 м	товщина стілки	маса 1 м
6	10,2	1,8	0,37	2,0	0,4	2,5	0,47
8	13,5	2,0	0,57	2,2	0,61	2,8	0,74
10	17,0	2,0	0,74	2,2	0,8	2,8	0,96
15	21,3	2,35	1,10	-	-	-	-
15	21,3	2,35	1,16	2,8	1,28	3,2	1,43
20	26,8	2,35	1,42	-	-	-	-
20	26,8	2,5	1,50	2,8	1,66	3,2	1,86
25	33,5	2,8	2,12	3,2	2,39	4,0	2,91
32	42,3	2,8	2,73	3,2	3,09	4,0	3,78
40	48,0	3,0	3,33	3,5	3,84	4,0	4,34
50	60,0	3,0	4,22	3,5	4,88	4,5	6,16

Додаток 9

**Арматурна сталь. Номери профілю, площі поперечного
перерізу, маса 1 м довжини арматурної сталі**

Номер профілю (номінальний номер стрижня d_s)	Площа поперечного перерізу стрижня, cm^2	Маса 1 м профілю, кг
6	0,283	0,222
8	0,503	0,395
10	0,785	0,617
12	1,131	0,888
14	1,540	1,210
16	2,010	1,580
18	2,540	2,000
20	3,140	2,470
22	3,800	2,980
25	4,910	3,850
28	6,160	4,830

Номер профілю (номінальний номер стрижня d_s)	Площа поперечного перерізу стрижня, cm^2	Маса 1 м профілю, кг
32	8,040	6,310
36	10,180	7,990
40	12,570	9,870
45	15,000	12,480
50	19,630	15,410
55	23,760	18,650
60	28,270	22,190
70	38,480	30,210
80	50,270	39,460

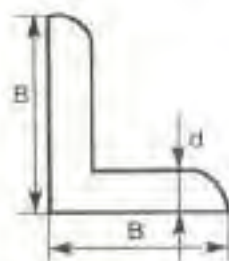
Додаток 10

Довжина профілів кутової сталі

Номер профілю		Довжина, м	
рівнобічна	нерівнобічна	вд	до
2-4	2,5/1,6-5/3,2	4	9
4,5-8	5,6/3,6-9/5,6	4	12
9-14	10/6,3-16/10	4	19
16-25	18/11-25/16	6	19

Додаток 11

**Кутова рівнобічна прокатна сталь
(ГОСТ 8509-72)**

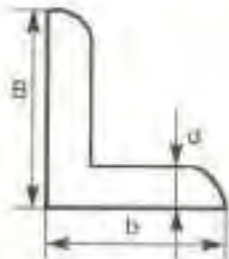


Номер профілю	Ширина, B, мм	Товщина d, мм	Площа профілю, cm^2	Маса 1 пог. м, кг
2	20	3,4	1,13;1,46	0,89;1,15
2,5	25	3,4	1,43;1,86	1,12;1,46
3,6	36	3,4	2,10;2,75	1,63;2,16

Номер профілю	Ширина, В, мм	Товщина d, мм	Площа профілю, см ²	Маса 1 пог. м, кг
4	40	3,4	2,35;2,08	1,35;2,42
4,5	45	3,4;5	2,65-4,20	2,08-3,37
5	50	3,4;5	2,96-4,80	2,32-3,77
6,3	63	4,5;6	4,96-7,28	3,90-5,72
7	70	4,5;6;7;8	6,20-10,7	4,87-8,37
7,5	75	5;6;7;8;9	7,39-12,8	5,80-10,1
8	80	5,6;7;8	8,63-12,3	8,63-12,3
9	90	6,7;8;9	10,6-15,6	8,33-12,2
10	100	6;7;8;10;12;14;16	12,8-29,7	10,1-23,3
11	110	7;8	15,2;17,2	11,9;13,5
12,5	125	8;9;10;12;14;16	19,7-37,8	15,5-29,6
14	140	9;10;12	24,7-38,5	19,4-25,5
16	160	10;11;12;16;18;20	31,4-60,4	24,7-47,4
18	180	11;12	38,8;42,2	30,5;33,1
20	200	12;13;14;16;20;25;30	47,1-115,5	37,0-87,6

Додаток 12

Кутова нерівнобічна прокатна сталь
(ГОСТ 8510 – 72)



Номер профілю	Висота, в	Ширина, b	Товщина, d	Площа профілю, см ²	Маса 1 пог. м, кг
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91
3,5/2	35	20	3,4	1,49;1,94	1,17;1,52
4/2,5	40	25	3,4	1,89;2,47	1,48;1,94
5/3,2	50	32	3,4	2,42;3,17	1,90;2,49
5,6/3,6	56	36	3,4;5	3,16-4,41	2,48-3,46

Номер профілю	Висота, В	Ширина, b	Товщина, d	Площа профілю, см ²	Маса 1 пог. м, кг
6,3/4,0	63	40	4,5;6;8	4,04-7,68	3,17-6,03
7/4,5	70	45	4,5	5,07;5,59	3,98;4,39
8/5	80	50	5,6	6,36;7,55	4,99;5,92
9/5,6	90	56	5,6;8	7,86-11,18	6,17-8,77
10/6,3	100	63	6,7;8;10	9,59-15,5	7,53-12,1
11/7	110	70	6,7;8	11,4-13,9	8,98-10,9
12,5/8	125	80	7,8;10;12	14,1-23,4	11,0-18,3
14/9	140	90	8;10	18,0;22,2	14,1;17,5
16/10	160	100	9;10;12;14	22,9-34,7	18,0-27,3
18/11	180	110	10;12	28,3;33,7	22,2;26,4
20/12,5	200	125	11;12;14;16	34,9-49,8	27,4-39,1
25/16	250	160	12;16;18;20	48,3-78,5	37,9-61,70

Додаток 13

Сортамент прокату

Гарячекатана круга (ГОСТ 2590-71)

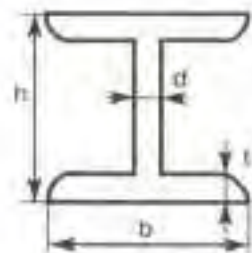
- діаметр, мм: 6, 8, 10, ..., 34, 36, 40, 45, ..., 195, 110, 120, 130, ..., 190, 200;
- маса 1 м відповідно, кг: 0,222; 0,395; ...; 246, 26.

Гарячекатана квадратна (ГОСТ 2591-71)

- сторона квадрата, мм: 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 60;
- маса 1 м відповідно, кг: 0,785; 1, 13, ...; 28,26.

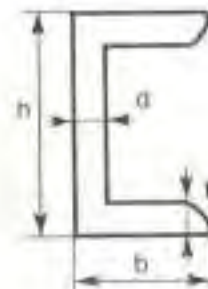
Гарячекатана шестикутна (ГОСТ 2879-69)

- діаметр вписаного кола, мм: 8, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 22, 24, 27, 30, 32, 34, 36, 40, 45, 50, 53, 60, 65, ..., 100;
- маса 1 м відповідно, кг: 0,435; 0,680, ..., 67,98.



Двогачеві балки (ГОСТ 8239-72)

Номер профілю	h	b	d	t	Площа перерізу, см ²	Маса 1 погон м, кг	Момент опору, см ³
10	100	55	4,5	7,2	12	9,46	39,7
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,5	58,4
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,7	81,7
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,9	109
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	143
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,9	159
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,0	184
20a	200	110	5,2	8,6	28,0	22,7	203
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,0	232
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,8	254
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,3	289
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,4	317
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,5	371
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,9	407
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,5	472
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,6	743
40	400	155	8,0	13,0	71,4	56,1	947
45	450	160	8,6	14,2	83,0	65,2	1220
50	500	170	9,5	15,2	97,8	76,8	1570
55	550	180	10,3	16,5	114	89,8	2000
60	600	190	11,1	17,8	132	104	2510
65	650	200	12,0	19,2	153	120	3120
70	700	210	13,0	20,8	176	138	3840



Швелери (ГОСТ 8240-72)

Номер профілю	h	b	d	t	Площа перерізу, см ²	Маса 1 погон м, кг	Момент опору, см ³
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	9,10
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	13,0
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	22,4
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	34,8
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	50,6
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	70,2
14a	140	62	4,9	8,7	17,0	13,3	77,8
16	160	64	5,0	8,4	18,1	14,2	93,4
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	15,3	103
18	180	70	5,1	8,7	20,7	16,3	121
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	17,4	132
20	200	76	5,2	9,0	23,4	18,4	152
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	19,8	167
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21,0	192
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	22,6	212
24	240	90	5,6	10,0	30,6	24,0	242
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	25,8	265
27	270	95	6,0	10,5	35,2	27,7	308
30	300	100	6,5	11,0	40,5	31,8	387
40	400	115	8,0	13,5	61,5	48,3	761

Розміри тонколистової гарячо- та холоднокатаної сталі, мм

Ширинка листа	600	710	750	800	1000
Товщина листа	Довжина				
0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6	1200	1420	1500	1500	1500
0,7	2000	1420	1500	1500	1500
0,8; 0,9	2000	2000	2000	2000	2000
1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0	2000	2000	2000	2000	2000
2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0	2000	1420	1500	1500	2000

Бура

Тетроболат натрію $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — сіль тетраборної кислоти $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, невиділеної у вільному стані. У природі бура зустрічається у вигляді мінералів, міститься у мінеральних нафтових водах, у виділеннях болотних вулканів. Бура утворює великі безбарвні прозорі кристали, які на повітрі висихають і мутніють: середньорозчинна у воді. Буру одержують із борної кислоти, з мінералів тінкеля, керіту та з води соляних озер. З оксидами різних металів бура утворює забарвлені сполуки — борати («перли бурит»), розчинні у воді, що використовують для переведення нерозчинних сполук металів у розчинні. Буру широко застосовують при приготуванні емалей, у виробництві оптичного і кольорового скла, при зварюванні різних металів, у металургії, паперовій, фармацевтичній і шкіряній промисловості, у фарбувальній справі, гальванотехніці, як дезінфікуючий та консервуючий засіб, і добриво та ін.

Пемза

Пемза — це пориста, губчаста вулканічна гірська порода. Утворюється під час вулканічних викидів при швидкому застиганні кислих лав (68–70% SiO_2), насичених водяною паром і газами. Колір пемзи, залежно від вмісту і валентності заліза, змінюється від білого до жовтого, бурого або чорного. Для пемзи характерна низька тепло- і звукопровідність, виражена газопроникливість. Пемза вогнестійка та хімічно інертна. Застосовується як абразивний матеріал для полірування дерева й металевих виробів, у

будівництві, склявиробництві, хімічній промисловості. З пемзи виготовляють фільтри, сушильні апарати. Їх використовують як основу для каталізаторів, як доданок до цементів, у якості наповнювачів тощи.

Стеарин

Стеарин (від грец. — жир, сало) — органічний продукт, який удержують із жирів. Складається зі стеаринової кислоти з домішками пальмітової, олеїнової та інших кислот. Стеарин — тверда, білівобіла маса, жирна на дотик, температура плавлення — 70°C .

Хімічні сполуки, які використовуються у шарнірних матеріалах:

цементит	— Fe_3C (карбід заліза);
окислю	— Fe_2O_3 (оксид заліза);
кремнієм	— SiO_2 (оксид кремнію);
плавиковий шпат	— CaF_2 (фтористий кальцій);
сінікат марганцю	— $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$
сінікат заліза	— $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$

Закордонні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей

Склад конструкційної легированої

Україна, Росія	Німецька		Франція	Велика Британія	Японія	США
	Шифр	DIN				
ГОСТ			AFNOR	B. S.	JIS	AISI/SAE/ASTM
15X	1,7015	15Cr3	12Cr13Cr2-18Cr3	523 M 15	SCr415 (H)	9015, 5115
30X	1,7030	28Cr3	-	580 A 30	-	5130
35X	1,7033	34Cr3	32Cr4, 34Cr4	530A32, 539H32, 530 M 32	SsCr430 (H)	5132
40X	1,7035	41Cr3	41Cr4, 42Cr4	530A40, 539H40, 530 M 40	SsCr430 (H)	5140
40X	1,7045	42Cr4	42Cr4TS	530A40	SCr440	5140
18XГ	1,7431	16MnCr5	16MnCr5, 16MnCr5	527M17590H17590M17	-	5115
18XГ	1,7447	20MnCr5	20MnCr5	-	SMnCr20H	5120
30Г	1,1170	28Mn6	20Mn5, 28Mn6	(150M28), (150M19)	SCMn 1	1330
35Г2	1,1167	36Mn5	35M5	150M36	SMnF38 (H)	1335
35Г1			40M5		SCMn 3	
40Г	1,1157	40Mn4	35M5, 40M5	150M36	-	1035, 1041
50XГA	1,7176	50Cr3	55Cr3, 55Cr3	525A58, 525A60, 525H60	SUP 9(A)	5155, 5160
50XГ0A	1,8159	51CrV4	51CrV4	735A51	SUP10	6245
50X0A		50CrV4	51CrV4, 50CrV4	735H51, 535M50		6150
AC38XM	1,7220	34CrMo4	34CrMo4	708A37, 35CrD4	SCM432	4135, 4137
35XM					SCCrM3	
35XMГ					SCM435H	

40X0A	1,7223	41CrMo4	42CrDTS	708M40 3111-5/1	SNCM240	4140, 4142
20XГ1M	1,6523	21NiCrMo2	20NCD2, 22NCD2	805H20, 805M20, 806M20	SNCM240	8620
38XГ1MГ	1,6546	40NiCrMo2-2	40NCD2	3111-Type	SNCM447	8740
38X2H2MA	1,6582	34CrNiMo6	34CrNiMo6, 35NCD8	816M40, 817M40	SNCM439	4337, 4340
40XH2MA	1,6565	40NiCrMo4	-	817A37, 818M40	SNCM439	4340, 9850
40XH	1,5711	40NiCr6	-		-	(X) 3140
40XH2MA	1,6511	36CrNiMo4	36CrNiMo4, 35NCD5, 40NCD3	817M37	-	4340, 9840
40XHМ						
38X2M0A	1,8309	41CrAlMo7	40CAD6, 12	905M39	SACM045	A355C1AE7140KG7140G
16Г2A0	1,8902	S420N(S1E 420)	F4E420KGN, E420R1FP	-	SM490, A, B, C, Y, YB	A 633Gr.E
16CA0	1,8905	P460N(S1E460)	F4E460KGN, E460R1FP	4360-55F	SM520 B	A 633Gr.E

Закордонні аналоги відомих марок конструкційних сталей

Сталі конструкційної групування зазначеної вищезгаданої якості

Україна, Росія	Німецька	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AENOR	B.S.	UNI	AISI/AE/ASTM
Ст0	S185(Fe-310-0), S235	A 33	Fe-310-0, 1449 15 HR,HS	Fe320	A 283 Gr. A
Ст2сп, Ст2вс	S235G2T, RSG34-2	A 34-2NE	1449 34/20 HR, HS,CR,CS	Fe 330 H FN	—
16ГЛ, 18ГЛ, Ст3сп	S235JRG1 (Fe-380 B), US1 37-2	—	Fe360B, 1360-10 B	Fe 360 B FU	A 283 Gr. C, A570Gr.33,36
Ст3вс, Ст3сп	S235JRG2 (Fe-380 B), US1 37-2	E24-2NE	Fe 360 B FU, 1449 27/23 CR, 430-438, 6323, HFW 3, HFS 3	Fe 360 B FN	A 570 Gr.36
Ст3сп, Ст3вс, Ст3сп, 16ГЛ	S235J2RG3 (Fe-360 D 1), US1 37-3	E 24-3, E24-4	Fe360D1FF, 1449 37/23 CR, 4360-40 D, 6323-HFW 4, HFS 4	Fe 360 C,D, Fe 360 C FN, Fe 360 D FF, Fe 37-2	A284Gr. D, A 573 Gr.58, A 570 Gr.36; C, A511Gr. C
Ст3вс, Ст3сп	S275JR (Fe-430 B), St44-2	E28-2	Fe 430 B FN, 1449 43/25 HR, HS,4360-43 B, 6323-HFW 4, HFS4, ERW 3, CEW 4, SAW 4	Fe 430 B, Fe 430 B FN	1020, A 570 Gr. 40, A 572 Gr. 42

492

Ст3сп, Ст3вс, Ст3сп	S275J2G3 (Fe-430 B) St 44-3	E 28-3 E28-4	Fe430D1FF, 4360-43 C, 43D	Fe 430 B Fe 430 C (FN) Fe 430 D (FF)	A 573 Gr.70 A 611 Gr. D A 572 Gr. 42
Ст3вс	E295 (Fe-490-2) St50-2	A 50-2	Fe 490-2 FN	Fe490	A 570 Gr. 50
Ст3сп	E335 (Fe-590-2) St 60-2	A 60-2	4360-50 B Fe 590-2 Fn 4360-55 E, 55 C	Fe-60-2 Fe 590	A 572 Gr. 65 A 572 Gr. 65

Сталі конструкційної групування зазначеної вищезгаданої якості

14F2	P295GH, 17 Mn 4	A 48 Cr 4p	1501 Gr.224, 3059-440	Fe 510-1 KG; KT KW, Fe 510-2 KG; KT KW, FeE 295	A516Gr.70, A516Gr.70, A514Gr. FG
15FФ	P355N, SCE335	FeE355 KG N, E 355 K/FP, A510AP	1501 Gr.255-490 A L T 20	FeE 355 KG; KW	A 633 Gr. C, A 588
17FC	S355J2G3	E36-3	Fe 510 D1 FF; 1449 50/35 HR, HS, 4360-50 D; 6323-ERW 5, CEW5; SAW5	Fe 510 C FN, Fe510 B,C,D, Fe 510 B FN	1024; 1524 A 572 Gr.50
17FC	St52-3N	E36-4	—	—	—

493

Співвідношення між стандартами

Україна, Росія	Німеччина	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AFNOR	B. S.	UNI	AMS/SAE/ASTM
55С2	53S17	55 S7, 56 S17, 55 S1 7, 56 S1 C, 7	251 A 58	55S17	9235
60С2	60S17	60S17, 60S7	251 A 60, 251 H 60	60S17	9260
60 (Г)	C60	C 60, 1 C 60, AF 70 C 55	060A6 2, 5770-60, 1419, 60 HS, CS	C 60, 1 C 60	1060
60 60 Г 60ГА	C 60E, Ck60	C60 2 C 60 XC60H1, XC60	060 A 62	C 60	1060, 1064
65ГA, 68 ГA, 70	C 67E / Ck67	C 68, XC 68	060 A 67	C 70	1070
75	C75	C75	1449 80 HS	C75	1074, 1075
75(A)	C75E / Ck75	C75, XC 75	060 A 78, 5570-80	C75	1074, 1075, 1078
85	C86D / D82-2)	XC80	1449 80 HS, CS	-	1086
85(A)	C85E / Ck85	C 90, XC90	-	C 90	1086

25

Співвідношення між стандартами

12ХМ	13CrMo4-5	15 CD 3.5	1302 620-440, 1503-620-440, 1502 620-470, 3606-620, 1507 620-540, 3901-620-440	14CrMo 8	A182-F11; F12
15ХМ	15CrMo4-4	15 CD4.05		16CrMo 3	A 387 Gr.12 C1.2
15ХМ	16CrMo4-4	15 CD 4.5		18CrMo4.5 KW;KG	A 387 Gr.12 C1.2
20ХМ 30ХМ	25CrMo4	25 CD 4 25CrMo 4	708 A 25	25 CrMo 4 (KB)	4130

25

Співвідношення між стандартами

11Х10 40Х	37Cr4	37Cr4	31111-3/L	38CrMo4 38CrMo5 38Cr4KB 38CrMo4KB	5135
		38Cr4	530A36 530H36 530M36		
11Х15	100Cr6	100Cr6, 100Cr6	2S135, 535A99	100Cr6	52100

Співвідношення між стандартами

20ГЦЛ	20Mn5	20 M5	120M19	G22Mn3 20Mn7	1022, 1518
27ХГЧМЛЛЛ 30ГЦЛ	30Mn5	35M5	120 M 36 (150 M 28)		1036
					1330
110ГЦЛ	X 120 Mn 12	Z120M12	-	GX 120 M 12	A128(A)

Список еквівалентностей, жаростійкі, жаропрочні, аустенітні

Україна, Росія ГОСТ	Німеччина DIN	Франція AFNOR	Велика Британія B.S.	Норвегія UNE	США ASIS/SAE/ASTM
12X8	10 CrMo9-10	Z12CD9-10 10CD9-10	302S22-490, 360S-622, 1502-622, 360A-622	12CrMo9 10KW, KG,G11CrMo910	A182F22,A387 Gr.22 C1.2
20X13 П4П	X12CrMnNi18-85	—	284S16	—	201
12X18Н	X12CrNi18-9	Z10CN18-08	302S24	X10CrNi1809	302
08X18Н10	X5CrNi18-10	Z6CN18-09	304S15	X5CrNi1810	304
20X23Н13	—	Z15CN24-13	309S24	X16CrNi2314	309
20X23Н18	—	Z12CN25-20	310S24	X6CrNi2520	310
12X18Н9Т	X6CrNiTi18-10	Z6CNT18-12	321S31	X6CrNiTi1811	321
08X18Н12Б	X6CrNiNb18-10	Z6CNNb18-11	347S31	X8CrNiNb1814	347
12X13	X10Cr13	Z12C13	410S21	X12Cr13	410
20X13	X20Cr13	Z20C13	420S45	X30Cr13	420
12X17	X6Cr17	Z6C17	430S17	X8Cr17	430
20X17Н2	X20CrNi17-2	Z15CN16-02	431S29	X16CrNi16	431

96

Список конструктивних еквівалентностей

08кв	DD13,StW24	3C	1449 1 HR	FeP 13	A622(1008)
08Ю: ЮА	DCO4,St4,St14	ES	1449 1CR,ZCR	FeP 04	A620(1008)
08Ю	DCO3,RRS13,RRS13	E	1449 3 CR, 1449 2 CR	FeP 02	A619
08: 10	C10E/Ck10	C10,XC10	040 A10	C10,2C10,2C15	1010
10	C10	C10,AF30, C10,XC10	040A10,045M10,1449 10CS	C10, 1C10	1010
10кв	UsW23(DD12GI)	2C	—	FeP 02	A621(1008)
15кв	DD11,StW22	1C	1449 4HR, 14HR	FeP 11	A621(1008)
15	C15E/Ck15	XC12,XC15,C18,XC18	040A15,080M15	C15,C16	1015
16K	P205GH	A2CF, AP	1501Gr.161-400, 151-400	Fe410 1 KW,KG,KT	—
20K	1111	1111	1501Gr.164-360 161-400	Fe410 2KW,KG	—
20	C22	AF12C20, XC25,1C22	055M15,070M20, 1449 22 11S,GS	C20,C31,C25	(M)1020,M1023
20	C22E,Ck22	2C22,XC18,XC25	055M15,(070M20)	C20,C25	1020, 1023
25	C25E,Ck25	2C25,XC25	(070M26)	C25	1025
35	C35	C35,1C35,AF35, C35,XC38	080A35,080M36, 080M36,1449 40CS	C35, 1 C35	1035

97

Україна, Росія ГОСТ	Нормативні DIN	Франція AFNOR	Велика Британія Б. С.	Італія UNI	США AISI/SAE/ASTM
35	C35E, Ck35	C35, 2C35, XC32, XC38H1	080A35, (080M36)	C35	1035, 1038
40	C40E, Ck40	2C40, XC42H1	060A40, 060A40, 080M40	C40	1045
45	C45	C45, 1C45, AF65C45	060A47, 080M46, 1449 50HLS, CS	C45, 1C45	1040
45	C45E, Ck45	C45, 2C45, XC42H1, XC45, XC48H1	080M46, 060A47	C45, C46	1045
50	C50E, Ck50	2C50, XC48H1, XC50H1	080M50	C50	1049, 1050
55	C55	C54, 1C55, AF70C55	070M55, 5770-50	C55, 1C55	1055
55	C55E, Ck55	2C55, XC55H1, XC54	060A57, 070M55	C55	1055

Список літератури

1. *Авксандрон О. Г., Заруба І. І., Пиньковський І. В.* Будова та експлуатація устаткування для зварювання пластиків. – К.: Техніка, 1998.
2. *Биковський О. Г., Пиньковський І. В.* Довідник зварника. – К.: Техніка, 2002. – 335 с.
3. *Близов А. М., Летин К. В.* Сварные конструкции. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
4. *Волченко В. Н., Гуревич А. К., Майоров А. Н.* и др. Контроль качества сварки. – М.: Машиностроение, 1975. – 327 с.
5. *Казовский Н. Н., Гомашевский Ю. Н., Пятон В. Е., Грушенко А. А.* Технология механизированной дуговой и электрошлаковой сварки. – М.: Высшая школа, 1972. – 367 с.
6. *Китаев А. М., Китов Я. А.* Справочная книга сварщика. – М.: Машиностроение, 1985.
7. *Козаков Ю. В.* Сварка и резка материалов. – М.: АСАДЕМІА, 2002.
8. *Коваленко Дмитро.* Російсько-український технічний словник. – Луцьк: Візор, 1993.
9. *Куркин С. А., Холов В. М., Рыбачук А. М.* Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. – М.: Атлас «Машиностроение», 1989. – 362 с.
10. *Малышев Б. Д., Акулов А. И., Алексеев Е. К.* и др. Сварка и резка в промышленном строительстве. – М.: Стройиздат, 1977. – 779 с.
11. *Рыбачук В. М.* Дуговая и газовая сварка. – М.: Высшая школа, 1981.
12. Русско-украинский словарь сварочной терминологии. *Бернадский В. Н., Осипа О. С., Симоненко Л. А., Филаненко Л. С.* – К.: Экотехнологія, 2001. – 223 с.
13. Сварщик. – Экотехнологія. – 1999–2003. – №№ 1–6.
14. *Степанов О. І.* Основи зварювального виробництва. – К.: Вища школа, 1990.
15. *Степанов В. В.* Справочник сварщика. – М.: Машиностроение, 1982.

16. *Ханипетов М. В.* Сварка и резка металлов. — М.: Стройиздат, 1987.
17. *Христенко Ф. А.* Справочное пособие электросварщика. — М.: Энергостроиздат, 1989.
18. *Шебеко Л. П.* Производственное обучение электрогазосварщиков. — М., 1984.
19. *Шебеко Л. П.* Оборудование и технологии автоматической и полуавтоматической сварки. — М.: Высшая школа, 1981.
20. *Шипкарев Б. М.* Электро- и газосварочные работы. — К.: Урожай, 1991.
21. Электроды для дуговой сварки, наплавки и резки. Каталог / Ю. А. Малозь, Н. М. Матвеев, Г. П. Похлищук и др. — М.: АО Спецэлектрод, 2000.

ЗМІСТ

Передмова	3
Розділ 1	
Розвиток зварювального виробництва	
1.1. Історія розвитку зварювання	5
1.2. Класифікація основних видів зварювання	6
1.3. Перспективи розвитку зварювального виробництва	8
Контрольні запитання та завдання	10
Розділ 2	
Зварні з'єднання й шви	
2.1. Зварні з'єднання. Основні поняття та позначення	11
Контрольні запитання та завдання	12
2.2. Класифікація швів	13
Контрольні запитання та завдання	15
2.3. Умовні позначення швів зварних з'єднань	15
Контрольні запитання та завдання	18
Розділ 3	
Зварювальна дуга	
3.1. Зварювальна дуга та її будова	19
Контрольні запитання та завдання	22
3.2. Характеристика зварювальної дуги	22
3.2.1. Вольт-амперна характеристика дуги	22
3.2.2. Зварювальні властивості дуги. Теплова потужність дуги	23
3.2.3. Вплив магнітного поля на дугу	24
Контрольні запитання та завдання	25
3.3. Плавлення електродного та основного металу	25
3.3.1. Переміщення електродного металу зверх дуги на виріб	25
3.3.2. Плавлення основного металу	26
Контрольні запитання та завдання	26
3.4. Продуктивність процесу зварювання	26
Контрольні запитання та завдання	27
Розділ 4	
Металургійні процеси при дуговому зварюванні	
4.1. Особливості металургійних процесів при зварюванні	28
4.1.1. Забруднення металу шва	28
4.1.2. Легування металу шва	29
Контрольні запитання та завдання	29

4.2. Кристалізація металу шва	29
4.3. Структура шва та зона термічного впливу	31
Контрольні запитання та завдання	32
4.4. Випускених тріщин при зварюванні	33
Контрольні запитання та завдання	33
4.5. Зварюваність матеріалів	34
4.5.1. Зварюваність сталей	34
4.6. Аналіз хімічного складу матеріалів	35
Контрольні запитання та завдання	36

Розділ 5

Джерела живлення дуги

5.1. Обладнання зварювального поста	37
Контрольні запитання та завдання	37
5.2. Класифікація та умовні позначення джерел живлення	38
Контрольні запитання та завдання	39
5.3. Характеристики джерел живлення і швидкі роботи	40
Контрольні запитання та завдання	43
5.4. Зварювальні трансформатори	43
Контрольні запитання та завдання	46
5.5. Зварювальні випрямлячі	46
Контрольні запитання та завдання	48
5.6. Зварювальні генератори	49
Контрольні запитання та завдання	50
5.7. Зварювальні перетворювачі	50
Контрольні запитання та завдання	51
5.8. Зварювальні агрегати	51
Контрольні запитання та завдання	54
5.9. Джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання	54
5.10. Джерела живлення плазмової дуги	55
5.11. Джерела живлення для зварювання малоамперною й трифазною дугою	55
5.12. Джерела живлення та установки для зварювання неплавкими електродами	56
5.13. Паралельне з'єднання джерел живлення	57
Контрольні запитання та завдання	58
5.14. Інструменти та прилади електрозварника	58
Контрольні запитання та завдання	63
5.15. Обслуговування та ремонт зварювального обладнання	63
Контрольні запитання та завдання	64

Розділ 6

Зварювальні матеріали

6.1. Види електродних матеріалів	65
6.2. Дроти для зварювання сталей і чавуни	65
6.2.1. Сталевий зварювальний дріт	65
6.2.2. Самозахисний дріт	67
6.2.3. Дроти й прути для зварювання та наплавлення чавуну	68
Контрольні запитання та завдання	68

6.3. Дріт для зварювання вольфрамових металів та їх сплавів	69
6.3.1. Дріт для зварювання алюмінію та його сплавів	69
6.3.2. Дріт для зварювання міді та її сплавів	69
6.3.3. Дріт для зварювання титану та його сплавів	70
6.3.4. Дріт і прути для зварювання нікелю, сталей, шпату, срібла й магнієвих сплавів	70
Контрольні запитання та завдання	71
6.4. Матеріали для наплавлення	71
6.4.1. Дріт для наплавлення	71
6.4.2. Порошковий дріт для наплавлення під флюсом	73
6.4.3. Самозахисний порошковий дріт для наплавлення	73
6.4.4. Електродні стрічки для наплавлення	73
6.4.5. Порошкові електродні стрічки для наплавлення	74
6.4.6. Спеціальні електродні стрічки для наплавлення	74
6.4.7. Гранульовані порошки для наплавлення	74
6.4.8. Литі твердосталеві прути для наплавлення	75
6.4.9. Чавунні прути для наплавлення	75
Контрольні запитання та завдання	75
6.5. Порошковий дріт і стрічка	76
6.5.1. Порошководібні зварювальні матеріали	78
Контрольні запитання та завдання	78
6.6. Покриті електроди для ручного дугового зварювання, наплавлення та різання	78
Контрольні запитання та завдання	80
6.7. Класифікація та умовні позначення покритих електродів	90
Контрольні запитання та завдання	86
6.8. Призначення покритих електродів	87
Контрольні запитання та завдання	88
6.9. Матеріали для зварювання чавуну	88
Контрольні запитання та завдання	90
6.10. Матеріали для зварювання міді та її сплавів	90
Контрольні запитання та завдання	91
6.11. Матеріали для зварювання алюмінію та його сплавів	91
Контрольні запитання та завдання	93
6.12. Умови зберігання й підготовка до зварювання покритих електродів	93
6.12.1. Захист оболонки покриття зварювальних електродів	95
Контрольні запитання та завдання	95
6.13. Неплавкі електроди	96
6.13.1. Підготовка вольфрамових електродів до зварювання	97
Контрольні запитання та завдання	97
6.14. Захисні газів та їх суміші	98
Контрольні запитання та завдання	101
6.15. Зварювальні флюси	101
Контрольні запитання та завдання	104
6.16. Екзотермічні матеріали для паюної зварювання та різання	104
Контрольні запитання та завдання	107
6.17. Підкладні матеріали	107
Контрольні запитання та завдання	108

Розділ 7

Технологія ручного дугового зварювання покритими електродами

7.1. Підготовка та складання деталей для зварювання	109
Контрольні запитання та завдання	114
7.2. Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80)	115
7.3. Режимі ручного дугового зварювання покритими електродами	119
Контрольні запитання та завдання	122
7.4. Вплив параметрів режимів зварювання на розміри та форму шва	123
Контрольні запитання та завдання	123
7.5. Запалювання дуги й герметика маніпулювання електродом	124
Контрольні запитання та завдання	126
7.6. Зварювання сталевих швів у нижньому положенні	127
Контрольні запитання та завдання	130
7.7. Зварювання кутових швів	130
Контрольні запитання та завдання	133
7.8. Способи виконання швів за вершином	133
Контрольні запитання та завдання	134
7.9. Способи зварювання швів різної довжини	134
Контрольні запитання та завдання	136
7.10. Особливості зварювання швів у різних просторових положеннях	136
Контрольні запитання та завдання	139

Розділ 8

Деформації та напрути при зварюванні

8.1. Причини виникнення напруг і деформацій та способи їх зменшення	140
8.2. Термічна обробка при зварюванні	143
8.3. Вібращивна обробка зварних конструкцій	143
8.4. Забезпечення точності виготовлення зварних конструкцій	144
Контрольні запитання та завдання	146

Розділ 9

Зварювання в захисних газах

9.1. Класифікація способів зварювання в захисних газах	147
9.2. Схеми зварювання в середовищі захисних газів	148
9.3. Підготовка кромки та їх складання під зварювання	152
Шви зварних з'єднань	152
9.4. Способи регулювання електричної дуги	154
9.5. Класифікація обладнання для механізованого зварювання	154
9.6. Газова апаратура й прилади	156
9.7. Напівавтомати та автомати для зварювання в захисних газах	159
9.7.1. Характеристики зварювальних напівавтоматів	160
9.7.2. Пучки газопроводу для зварного дроту, цильники	162
9.7.3. Напівавтомати ПДГО-308 і ПДГО-310 для дугового зварювання	164
9.7.4. Автомати для зварювання	165

9.8. Режим зварювання підляким електродом у вуглекислому газі	168
9.9. Загальні рекомендації з техніки зварювання	171
9.10. Техніка зварювання у вуглекислому газі	173
9.11. Технологія зварювання пугільними і графітовими електродами	176
9.12. Зварювання конструкційних сталей в суміші захисних газів на основі аргону	179
9.13. Зварювання порошковим дротом	183
9.13.1. Режим зварювання	184
9.13.2. Техніка зварювання	185
9.14. Зварювання самозахисним дротом	185
Контрольні запитання та завдання	187

Розділ 10

Зварювання під флюсом

10.1. Галузі застосування та суть зварювання під флюсом	188
10.2. Шви зварних з'єднань	190
10.3. Підготовка кромки до зварювання	192
10.4. Обладнання для напівавтоматичного та автоматичного зварювання	192
10.5. Шлангові напівавтомати	193
10.6. Зварювальні автомати	195
10.6.1. Автоматичні підвісні головки	197
10.6.2. Зварювальний автомат АДФ-1250	199
10.7. Режим зварювання під флюсом	200
10.7.1. Сила зварювального струму	200
10.6.3. Напрута дуги	202
10.6.4. Ріді поляризації струму	203
10.6.5. Швидкість зварювання	203
10.6.6. Швидкість подачі електродного дроту	205
10.6.7. Видіг електрода	205
10.6.8. Нахил електрода відносно шва	205
10.6.9. Нахил виробу	206
10.6.10. Марка флюсу та його грануляція	206
10.6.11. Вплив форми розробки, величини зазору, товщини і температури зварного металу на форму шва	207
10.8. Техніка автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом	208
10.9. Технічне обслуговування напівавтоматів для дугового зварювання	211
Контрольні запитання та завдання	214

Розділ 11

Електрошлакове зварювання

11.1. Особливості електрошлакового зварювання	215
11.2. Суть електрошлакового зварювання	217
11.3. Підготовка і складання кромки деталей	219
11.4. Апарати для електрошлакового зварювання	220

11.5. Матеріали та режими зварювання	222
11.5.1. Ориєнтовані параметри ЕПІЗ	224
11.6. Техніка зварювання	225
11.6.1. Збурження процесу зварювання	225
11.6.2. Одержання якісного шва	225
11.6.3. Вибір фірмових пристроїв	226
11.6.4. Рівномірне проварювання кромок	226
Контрольні запитання та завдання	230

Розділ 12

Особливості зварювання різних видів

12.1. Плазміне зварювання	231
12.2. Електрично-променеє зварювання	233
12.3. Лазерне зварювання	234
12.4. Термічне зварювання	235
12.5. Контактне зварювання	236
12.6. Дифузійне зварювання	238
12.7. Дугопресове зварювання у магнітному полі (обертковою дугою)	239
12.8. Індукційне зварювання	240
12.9. Зварювання тертям	241
12.10. Холодне зварювання	241
12.11. Зварювання вибухом	242
12.12. Ультразвукове зварювання	242
12.13. Імпульсно-магнітне зварювання	244
12.14. Копальське (гермічне) зварювання	245
12.15. Воднево-киснеє зварювання	247
12.16. Зварювання електрозакрепою	247
12.17. Комбіновані лазерно-дугові процеси	249
12.18. Комбінований процес точкового плазмово-дугового зварювання	250
12.19. Приварювання шпильок і стрижнів	251
12.20. Дугове зварювання під водою	252
Контрольні запитання та завдання	253

Розділ 13

Високопродуктивні способи зварювання

13.1. Підвищення продуктивності дугового зварювання	254
13.2. Зварювання високопродуктивними електродами	255
13.3. Зварювання з глибоким проплавленням (опіранням)	255
13.4. Зварювання спареним електродом, гребінкою електродів і графізною дугою	257
13.4.1. Зварювання спареним електродом	257
13.4.2. Зварювання гребінкою електродів	257
13.4.3. Зварювання графізною дугою	258
13.5. Зварювання лежачим і похилим електродом	258
13.6. Зварювання пульсуючою дугою	260
Контрольні запитання та завдання	260

Розділ 14

Дугове зварювання вуглецевих і легированих сталей

14.1. Характеристика сталей	261
14.2. Зварюваність сталей	262
14.3. Вплив основних елементів на зварюваність сталей	264
14.4. Зварювання отшлакунгетованих сталей	265
14.5. Зварювання середньоуглецевих сталей	269
14.6. Зварювання високоуглецевих сталей	270
14.7. Зварювання термостійких сталей і сталей із захисними покриттями	270
14.8. Зварювання нітродированих сталей	271
14.9. Зварювання легированих телуридованих сталей	272
14.10. Зварювання середньлегированих сталей	273
14.11. Зварювання високолегированих сталей і сплавів	274
14.12. Зварювання різновидних і двошарових сталей	276
Контрольні запитання та завдання	278

Розділ 15

Зварювання чавунів

15.1. Характеристика чавунів	279
15.2. Особливості зварювання чавунів	280
15.3. Холодне зварювання чавунів	282
15.4. Гаряче зварювання чавунів	290
Контрольні запитання та завдання	291

Розділ 16

Зварювання кольорових металів та їх сплавів

16.1. Зварювання міді	292
16.1.1. Ручне дугове зварювання міді вугільним або графітовим електродом	292
16.1.2. Ручне дугове зварювання міді покритими електродами	294
16.1.3. Зварювання міді в середовищі захисних газів	295
16.1.4. Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом	297
16.2. Зварювання латуні	298
16.2.1. Ручне дугове зварювання латуні покритими електродами	298
16.2.2. Зварювання латуні графітовим електродом	299
16.2.3. Дугове зварювання латуні вольфрамовим електродом	300
16.2.4. Автоматичне й напівавтоматичне зварювання латуні під флюсом	300
16.3. Зварювання бронзи	300
16.3.1. Зварювання бронзи вугільним електродом	302
16.3.2. Зварювання бронзи покритими електродами	302
16.3.3. Автоматичне зварювання бронзи плавким електродом під флюсом	303
16.4. Зварювання алюмінію та його сплавів	303
16.4.1. Ручне дугове зварювання алюмінію покритими електродами	305

16.4.2.	Аргондугове зварювання алюмінію вольфрамовим електродом	306
16.4.3.	Механізоване зварювання алюмінію та його сплавів в аргон плавкими електродом	309
16.4.4.	Автоматичне зварювання алюмінію плавким електродом капіваідкритою дугою	310
16.4.5.	Зварювання алюмінію вугільним електродом	310
16.4.6.	Плазмове зварювання алюмінію	311
16.5.	Зварювання титану та його сплавів	312
16.5.1.	Вимоги до технології складання титанових виробів і присаджувального матеріалу	313
16.5.2.	Ручне зварювання титану вольфрамовим електродом	313
16.5.3.	Дугове зварювання титану в інертному газ плавким електродом	315
16.5.4.	Автоматичне зварювання титану під флюсом	316
16.5.5.	Електронно-променево зварювання титану	317
16.5.6.	Плазмове та імпульсно-дугове зварювання титану	317
16.6.	Дугове зварювання нікелю та його сплавів	318
16.6.1.	Аргондугове зварювання нікелю вольфрамовим електродом	319
16.6.2.	Ручне дугове зварювання нікелю покритими електродом	319
16.7.	Зварювання нагрітих сплавів	320
16.8.	Зварювання свинцю	323
16.9.	Зварювання цинку срібла та інших кольорових металів і сплавів	324
	Контрольні запитання та завдання	328

Розділ 17

Технологія зварювання тугоплавких і різновидних металів

17.1.	Зварювання тугоплавких металів	329
17.2.	Зварювання різновидних металів	330
17.2.1.	Зварювання з розплавленням з'єднуваних матеріалів	331
17.2.2.	Зварювання з розплавленням легкоплавкішого із з'єднуваних металів	331
17.2.3.	Зварювання металів із розплавленням легкоплавкішого металу та нанесенням покриття на поверхню тугоплавкішого металу	331
17.2.4.	Зварювання різновидних металів через проміжні вставки	331
17.2.5.	Зварювання різновидних сплавів покритими електродом	332
	Контрольні запитання та завдання	332

Розділ 18

Зварювання пластмас

18.1.	Особливості зварювання пластмас, механізм утворення зварного з'єднання	333
18.2.	Зварювання плавленням (дифузійне)	333
18.3.	Хімічне зварювання	334

18.4.	Способи зварювання	334
18.4.1.	Зварювання пластмасових труб	336
18.4.2.	Застосування зварювання пластмас при замірзатті	343
	Контрольні запитання та завдання	344

Розділ 19

Дугове наплавлення та напалення

19.1.	Загальні відомості про наплавлення	345
19.2.	Наплавленням матеріалів	345
19.3.	Особливості технології наплавлення металами різних типів	348
19.3.1.	Наплавлення нелегірованих і низьколегірованих сталей	348
19.3.2.	Наплавлення високолегірованих інструментальних сталей	349
19.3.3.	Наплавлення нікельованих сталей	349
19.3.4.	Наплавлення корозійностійких сталей	349
19.3.5.	Наплавлення нікельомарганцевих сталей	350
19.3.6.	Наплавлення хромонікелевих і хромонікельомарганцевих сталей	350
19.3.7.	Наплавлення високохромистих чавунів	351
19.3.8.	Наплавлення інварних сплавів	351
19.3.9.	Наплавлення вобальованих сплавів	352
19.3.10.	Аргондугове наплавлення прутками і сплавів вормайт	352
19.3.11.	Наплавленням срібла	353
19.4.	Техніка наплавлення	353
19.5.	Види наплавлення	354
19.6.	Теплоермічне напалення	357
	Контрольні запитання та завдання	358

Розділ 20

Технологія виробництва зварних конструкцій

20.1.	Класифікація зварних конструкцій	359
20.2.	Особливості проектування будівельних конструкцій	363
20.3.	Вибір матеріалів і способів зварювання	365
20.4.	Механічні властивості та міцність зварних з'єднань	366
20.5.	Технологічна міцність зварних з'єднань, Зварюваність	367
20.6.	Конструктивна міцність зварних з'єднань	
	Зварювання напрути та деформації	369
20.7.	Балони в розривній конструкції	371
20.7.1.	Неперервне виробництво зварних балок	373
20.7.2.	Елементи виробництва зварних балок	376
20.8.	Резишесті конструкції	377
20.8.1.	Щогли і болти	382
20.8.2.	Мостові конструкції	384
20.9.	Арматура залізобетону	385
20.10.	Оболонкові конструкції	386
20.11.	Вертикальні циліндричні резервуари	388
20.12.	Сферичні резервуари	393

20.13. Посудини, які працюють під тиском. Типи посудин	394
20.13.1. Зварювання посудин, які працюють під тиском	395
20.14. Трубопроводи, труби. Класифікація.	
Технологія зварювання	396
20.14.1. Зварювання труб магістральних трубопроводів	400
20.14.2. Зварювання стиків труб	402
20.14.3. Ручне дугове зварювання неповоротних стиків магістральних трубопроводів	402
20.14.4. Зварювання трубопроводів у закритих газах	405
20.15. Зварювання емкостей з-під нафтопродуктів	405
20.16. Ремонт виробів за допомогою зварювання	406
Контрольні запитання та завдання	407

Розділ 21 Дугове різання

21.1. Особливості різних способів різання	409
21.2. Різання покритими електродами	411
21.3. Різання неплавкими електродами	413
21.4. Повітряно-дугове різання	413
21.5. Киснево-дугове різання	415
21.6. Дугове різання під флюсом, аргонодугове і різання сталевим диском	416
21.7. Плазмово-дугове різання	416
21.7.1. Плазмове різання із застосуванням води замість закритого газу	420
21.8. Електронно-променеве свердління отворів	421
21.9. Дугове підводне різання	422
Контрольні запитання та завдання	424

Розділ 22

Якість зварювальних робіт. Зварні дефекти. Контроль якості

22.1. Показники якості зварних з'єднань	425
22.1.1. Типи і види дефектів	426
22.2. Дефекти підготовки та складання	426
22.3. Класифікація дефектів за типами й видами	427
22.4. Зовнішні дефекти	427
22.5. Внутрішні дефекти	429
22.6. Види контролю	433
22.7. Контроль зовнішнім оглядом та обміром	434
22.7.1. Контроль вихідних матеріалів, складання та процес зварювання	434
22.7.2. Процес зварювання	435
22.7.3. Готові зварні вироби	435
22.7.4. Фізичні основи контролю	436
22.8. Правильні та пневматичні методи	436
22.9. Хімічний метод	439
22.10. Радіоізотопний метод	440
22.11. Контроль капілярним методом	440

22.12. Контроль магнітними методами	442
22.12.1. Магнітопорощковий метод	443
22.12.2. Магнітографічний метод	443
22.13. Контроль ультразвуковими методами	444
22.14. Контроль радіоізотопними методами	446
22.15. Руйнівні методи контролю. Механічні випробування зварних з'єднань	447
22.15.1. Статичні випробування	448
22.15.2. Динамічні випробування	449
22.15.3. Випробування на втомлюваність	450
22.16. Металографічні випробування зварних з'єднань	450
22.16.1. Макроаналіз	451
22.16.2. Мікроаналіз	452
22.16.3. Вимірювання твердості	432
22.17. Корозійні випробування	453
22.18. Хімічний і спектральний аналіз	455
Контрольні запитання та завдання	456

Розділ 23

Основи технічного нормування зварювальних робіт

23.1. Нормування часу зварювання	457
23.2. Нормування ручного дугового зварювання	457
23.3. Нормування автоматизованого та автоматичного зварювання	459
23.4. Нормування неплавильних робіт	459
Контрольні запитання та завдання	460

Розділ 24

Охорона праці при зварюванні та різанні

24.1. Основні види травматизму при зварюванні та різанні	461
24.2. Заходи щодо забезпечення електробезпеки	464
24.3. Захист від світлової радіації	465
24.3.1. Спеціалізований одяг для зварювання	467
24.4. Захист від шкідливих газових виділень, пилу та вероволок	468
24.5. Запобігання можливим вибухам	471
24.6. Заходи безпеки від теплових опіків	471
24.7. Особливості забезпечення безпеки робіт при зварюванні та різанні на будівельно-монтажних площадках	472
24.8. Протипожежні заходи	473
24.9. Охорона праці зварників і різальників	473
Контрольні запитання та завдання	474

Додатки	475
---------	-----

Список літератури	499
-------------------	-----

Написавши видання

ГУМЕНЮК Ігор Васильович
ІВАСЬКІВ Олена Федорівна
ГУМЕНЮК Ольга Василівна

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Підручник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *Л. І. Іванітко*

Художнє оформлення *В. С. Міронець*

Технічний редактор *І. О. Семанюк*

Коректори *Л. П. Хильченко, Н. Ю. Ковар*

Комп'ютерна верстка *Л. І. Микола*

Підписано до друку 10.04.09.

Формат 60×90/16. Папір офсетний № 1. Друкують Південбука.

Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 52,0. Обл.-вид. арк. 37,867.

Наклад: 37 000 прим. Зам. № 6-412.

Видавництво «Гриніта»

вул. Кляшівської узвиц. 8 м. Київ 01021

тел./факс: (044) 253-08-04, тел. 253-90-17, 253-02-64

E-mail: grinita@ukrnet.net

Свідчення про внесення до Державного реєстру України
суб'єкта видавничої справи ДК № 341 від 21.02.2001 р.

Віддруковано і повністю фінансовано видавництвом «Гриніта»
у ВАТ «Харківська кондитерська фабрика ім. М. П. Гоголя»
вул. Діброва-Закарпатська, 9/8 м. Харків 61057