

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

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Підручник

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

Київ
Грамота
2006

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-2691 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. Каптур, канд. пед. наук, доцент

Гуменюк І. В.

Г94 Технологія електродугового зварювання: Підручник / І. В. Гуменюк, О. В. Іваськів, О. В. Гуменюк — К.: Прамота, 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 електрозварювальних робіт. Розглянуті технологічні процеси зварювання різних металів і сплавів, особливості техніки дугового зварювання. Довідкові таблиці дають можливість конкретно вибрати режими, матеріали та обладнання для електричного зварювання та різання металів, сплавів, пластмас.

Матеріал підручника відповідає програмі професійно-теоретичної та професійно-практичної підготовки учнів за професією «Електрогазозварник».

Розрахований на учнів ПТУ і коледжів, викладачів, зварників, а також для курсової підготовки з професії «Електрогазозварник».

ББК 34.641я722

ISBN 966-349-010-1

© І. В. Гуменюк, О. Ф. Іваськів,
О. В. Гуменюк, 2006
© Прамота, 2006

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 зварні є легшими та дешевшими. При цьому скоювання 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 неагомості. Швидкими темпами освоюються нові види зварювання: електронно-променевого, світлового, дифузійного, ультразвукового, електромагнітного, лазерного та ін. Розширилися можливості дугового й контактного зварювання.

Для підвищення якості продукції та продуктивності праці у зварювальній виробництві 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.

РОЗВИТОК ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

Промисловість України випускає значну кількість різних марок електродів для дугового зварювання конструкцій із вуглецевих, легованих, жароміцних, тепло-, корозіо-, жаростійких та інших сталей. Випускаються також електроди для відновлювального зносоустійкого 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 зварного 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 освіти 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. учені проводять дослідження щодо зварювання живих біологічних тканин, створення зварювальних робіт, досліджують проблеми коагуляції, розробляють вимоги щодо спеціальних інструментів і приладів.

Даті 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 дозволяють їм стати кваліфікованими зварниками.

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

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. Н. 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, електронно-променеве, підводне.

У 1924–1935 рр. використовувались електроди без покриття або з тонким іоїзуючим покриттям. З 1935–1939 рр. почали широко використовувати зварювання на базі електродів з товстим покриттям і стрижнів із легованих сталей.

У 1939 р. під керівництвом академіка АН УРСР Євгена Оскаровича Патона (1870–1953) були запроваджені автоматичне та напівавтоматичне 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 ХХ ст. французькими вченими створено електроінопроменеве зварювання.

Розвиток зварювального виробництва значною мірою залежить від обсягів випуску сталі й прокату. У 2002 р. Україна виготовила 33,5 млн т сталі і 25,58 млн т прокату. Загальний об'єм виробництва електродів дорівнював 44 276 т, із них з рутил-ільменітовим покриттям — 36 399, із основним — 7 311 і спеціальних електродів — 566 т. Було виготовлено 790 т порошкового дроту, 278 зварювального і 512 для наплавлення, а також 19 334 т флюсів. Експорт українських зварювальних матеріалів становив 1 780 т.

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

У третьому тисячолітті зварювання — один з провідних технологічних процесів. До 2/3 світового споживання сталевого прокату йде на виробництво зварних конструкцій. Практично зварюють майже всі метали на землі, в морських глибинах і в космосі. Маса зварюваних конструкцій становить від частки 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 церубінуцій 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 гравітації, 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 розплавлені електроіровідний 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 дифузійно 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** належить 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 стискання і нагрівання зварюваних деталей за рахунок тертя при їх обертанні;

— **імпульсно-магнітне зварювання** — тиск електрода підсилюється імпульсним магнітним полем, завдяки чому подача електрода в період стискання 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 вздовж шва, подача флюсу тощо. Із механізованих способів зварювання плавленням широко використовуються автоматичні і напівавтоматичне зварювання під флюсом, у захисних газах, електрозаклепкам, 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 займають 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 судинними 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, який 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 (роликowe, 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 судинних дротів та 30% порошкових дротів від загального об'єму зварювальних матеріалів і практично всі спечені й порошкові стрічки. Удосконалюються технології нанесення спеціального та ахісонного покриття методами плазмо-дугового, електронно-променевого, газотермічного й динамічного наплення. Особливе значення мають технології склеювання. Створено значну кількість клеєвих композицій, які дають можливість з'єднувати одно- та різномірні 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 різномірних матеріалів (сталь – титан, мідь – алюміній, сталь – алюміній та ін.) перспективними є такі процеси: зварювання магнітно-імпульсним, зварювання вибухом, дифузійне зварювання, паяння, склеювання, механічні (штисельні) з'єднання.

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

Значно розширились можливості підводного зварювання та різання, які використовуються на глибинах декількох десятків метрів. Для цього використовують зварювання плавками і несплавними 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 нафтопродів по дну океанів.

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

особливості одержання зварних з'єднань в умовах вакууму та мікрогравітації, оцінені можливості людини 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 термомеханічного 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 несплавним вугільним електродом?
10. Хто вперше запропонував зварювання плавким електродом?
11. Під чий керівництвом були запроваджені автоматичне й напів-автоматичне зварювання під шаром флюсу?
12. Коли вперше впровадили зварювання сталей у середовищі вуглекислого газу?
13. Які обсяги виробництва зварювальних матеріалів в Україні?
14. Назвіть зварювальні технології, розроблені Інститутом електрозварювання ім. С. О. Патона.

2.1. ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

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

За видом з'єднання можуть бути стикові, кутові, таврові, внапик, торцеві.

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 (полум'я).

Основним називають метал, який підлягає з'єднанню зварюванням.

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

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

Металом шва називають сплав, утворений переплавленим основним і наплавленим металами

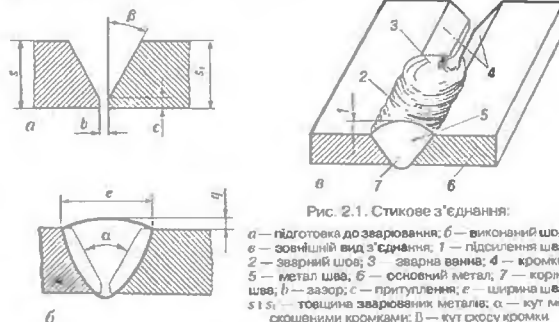


Рис. 2.1. Стикове з'єднання:

а — підготовка до зварювання; б — виконаний шов, е — зовнішній вид з'єднання; 1 — поділення шва, 2 — зварний шов; 3 — зварна ванна; 4 — кропки, 5 — метал шва, 6 — основний метал; 7 — корінь шва, 8 — зазор; 9 — притуплення; е — ширина шва, 11, 12, 13 — товщина зварювального металу; а — кут між скошеними крошками; β — кут скосу крошки

Кромки — це торцеві поверхні деталей, що підлягають зварюванню.

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

Скіс кромки — це прямолінійний або криволінійний аріс кромки, яка підлягає зварюванню.

Притуплена кромка — нескошена частина її торця.

Зазор — відстань між притупленими кромкам.

Кут скосу кромки — кут між площиною скосу кромки і торцем.

Кут розчищення кромки — кут між скошеними кромками. Кромки розчищають з метою кращого провару кореня шва.

Підсилення шва — частина металу шва, що виступає над поверхню 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 джерила нагрівання.

Багатошаровий шов — це шов, утворений декількома шарами.

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

Заготовка — матеріал, призначений для наступної 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.

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 скосу 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 заготовок, 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 відносять: 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.

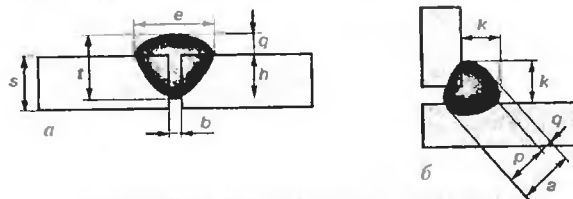


Рис. 2.2. Основні геометричні параметри зварного шва:
 a — стикового; b — кутового; s — товщина зварюваного металу; e — ширина шва; h — глибина провару; q — підсилення шва; t — товщина шва; b — зазор; k — катет кутового шва; p — розрахункова висота кутового шва; a — товщина кутового шва

Контрольні запитання та завдання

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

Зварні шви (рис. 2.3) класифікуються за:

- типом з'єднання: стикові (1), кутові (2), таврові (3), випуск (4), торцеві (5);
- протяжністю: неперервні (6), перервні (7), перервні часті ланцюгові (8), перервні часті шахові (9);
- кількістю шарів (валків): одношарові (10), багатшарові (11);
- формою зовнішньої поверхні: нормальні (12), увігнуті (13), випуклі (14);
- відношенням до навантажень: 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: однобічні (25), двобічні (26);
- положенням у просторі: нижні (27), горизонтальні (28), вертикальні (29), стельові (30), «у човник» (31);
- конфігурацією: прямолінійні (32), криволінійні (фігурні) (33), кільцеві (34), кільцеві спіральні (35);
- способом утримування зварювальної ванни: у висячому положенні (36), на підкладці (37).

Контрольні запитання та завдання

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

2.3. УМОВИ 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 однобічною стрілкою, яка вказує місце розташування шва.

Характеристика шва відповідно умовному позначенню проставляється над поличкою (коли вказаний лицьовий бік шва), або під поличкою (коли вказаний зворотний бік шва). За лицьовий бік однобічного шва приймають той, з якого виконують зварювання, а в двобічних — будь-який. Усі елементи умовного позначення розташовуються в певній послідовності і відокремлені між собою знаком «елфіс» (крім допоміжних знаків). Позначення способів зварювання буквами проставляють 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 — електрошлакове. В умовному позначенні не вказують стандарт, якщо всі шви виконуються за одним стандартом, але роблять відповідні вказівки в примітках на кресленні.

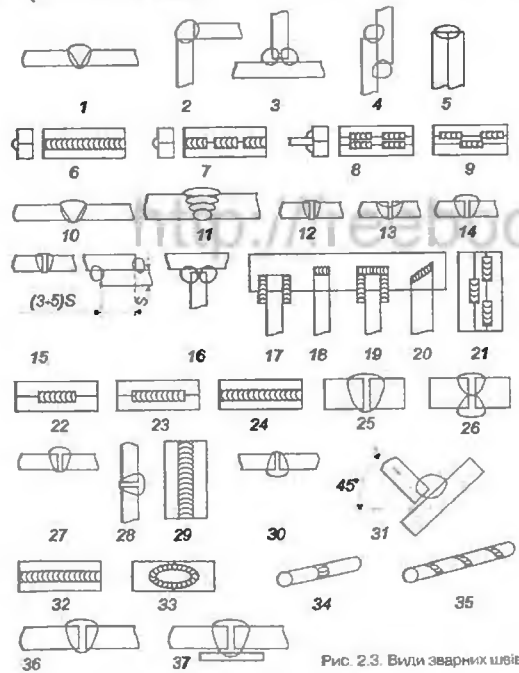


Рис. 2.3. Види зварних швів

Характеристика шва в умовному позначенні складатися з таких елементів:

- позначення стандарту на типі й конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
- буквенно-цифрове умовне позначення швів;
- умовне позначення способу зварювання (школи не вказується);
- знак катета шва та його розмір у міліметрах (тільки для з'єднань кутових, таврових і внапуск);
- довжина проварюваної ділянки (для переривчастого шва), крок (довжина непровареної ділянки) і знак, яким позначається ланцюговий або шаховий шов;
- допоміжні знаки (табл. 2.1);
- позначення шорсткості механічно-оброблюваної 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 глянцевого боку	із зворотного боку
	Надлиги й нерівності обробити з планним переходом до основного металу		
/	Переривчастий шов із ланцюговим розташуванням ділянок		
Z	Переривчастий шов із шаховим розташуванням ділянок		
	Шов за незамкнутим контуром		
	Підсилення шва зняти		
	Монтажний шов		
	Шов за замкнутим контуром		
	Катет шва		

Коли на кресленні є однакові шви, то їх позначають єдиним номером, який ставлять на лінійках виносках, а умовне позначення вказують тільки на одному з них. Якщо стандарт вказаний в примітках креслення, то можливе спрощене буквенно-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
Стиковий двобічний шов із криволінійним скосом двох кромок, виконаний дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-С26
Стиковий однібічний шов зі скосом двох кромок за замкнутим контуром. Підсилення шва зняте механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-С17-Ω
Кутовий однібічний шов без скосу кромок, монтажний. Катет шва – 5мм. Підсилення шва зняте механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-У4 Δ5 Ω
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 14771-76-Т4 УП Δ6 50 Z150
Тавровий однібічний шов без скосу кромок, виконаний ручним дуговим зварюванням за замкнутим контуром із катетом 4 мм	ГОСТ 5264-80-Т1 Δ4
Спрощене позначення стикового двобічного шва з двома симетричними скосами двох кромок, якщо стандарт вказаний в примітках креслення	С21
Спрощене позначення при наявності на кресленні однакових швів і коли вказане позначення біля одного з них за №1	№1 №1 №1
Видиме зображення шва на кресленні (суцільною лінією). З'єднання внапуск, виконане дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-Н1
Невидиме зображення шва на кресленні (штриховою лінією). З'єднання внапуск, виконане дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-Н1

ТОВ "ІНТЕРА" № 85
 м. Львів, Личаківський район
 БІБЛІОТЕКА

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

Контрольні запитання та завдання

1. Як на кресленнях зображують видимі 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 лаштованим розташуванням ділянок із зворотного боку?
6. Що означає допоміжний знак Z?
7. Як позначають шов за незамкнутим контуром із лицьового боку?
8. Що означає допоміжний знак \bigcirc ?
9. Яким допоміжним знаком позначають катет шва?
10. Як позначають монтажний шов?
11. Як позначають шов за замкнутим контуром?
12. Що вказують цифри після букв позначення видів 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 харті-символ катета 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 єдиним номером, який ставлять на лінійку-вносок?
19. Укажіть допоміжні знаки для позначення зварних швів.

3.1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА ТА ЇЇ БУДОВА

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

Залежно від способу підведення зварювального струму, роду 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 електродми, а основний метал не увімкнений в електричне коло;
- трифазна дуга (рис. 3.1, в) горить між двома плавкими електродми і основним металом;
- стиснена дуга (рис. 3.1, г) горить між електродми і стиснена газом (плазмова дуга).

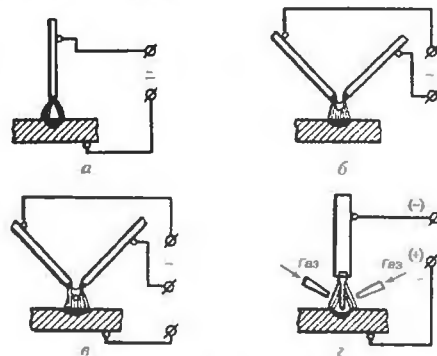


Рис. 3.1. Види зварювальної дуги:

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

У звичайних умовах газ не проводить електричного струму, бо вони складаються з атомів і нейтральних молекул, які не є носіями електричних зарядів. Для утворення і 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 вносять 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 замкненому зварювальному колі. 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 вилітають з кінця електрода, поповнюються з джерела живлення зварювальним струмом і дуга буде горіти постійно.

У дуговому проміжку розрізняють ударну, фото- і теплову іонізацію. При ударній іонізації електрони, які вилітали 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 проходять 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_k) пов'язаний з витратами на зміщення та розігрів 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:

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

При зварюванні дугою постійного струму існує пряма та зворотна полярності. Для прямої полярності електрод (катод) слід під'єднати до негативної клемки 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 пропалів, 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 синусоїди 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

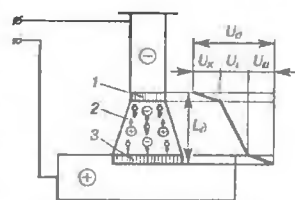


Рис. 3.2. Будова електричної дуги і розподіл напруги на її областях.

1 — катодна пляма; 2 — стовп дуги; 3 — анодна пляма

відляється на електроді й виробі, буде однаковим. Якщо дуга змінного 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 газак?
4. Що таке електронна емісія?
5. Які види іонізації розрізняють у дуговому просторі?
6. Яка температура катодної плями?
7. Яка температура стовпа дуги?
8. Який загальний спад напруги в дузі?
9. Охарактеризуйте катодну пляму?
10. Охарактеризуйте анодну пляму?
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.

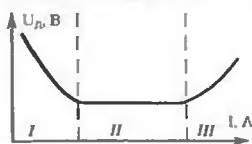


Рис. 3.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

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 потужним 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:

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

де Q – повна теплова потужність дуги, кал/с (1 кал = 4,1868 Дж); 0,24 – коефіцієнт перекладу електричних одиниць у теплові, кал/Вт·с; $I_{\text{за}}$ – сила зварювального струму; A ; $U_{\text{д}}$ – напруга дуги, В.

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

$$q_{\text{эф}} = 0,24 \cdot I_{\text{за}} U_{\text{д}} \eta_{\text{е}},$$

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

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

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

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

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

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

$$q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{эф}}}{V_{\text{за}}} = \frac{0,24 \cdot I_{\text{за}} U_{\text{д}} \eta_{\text{е}}}{V_{\text{за}}},$$

де $q_{\text{п}}$ – погонна енергія зварювання, кал/см; $V_{\text{за}}$ – швидкість зварювання, см/с.

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

Погона енергія знаходиться у прямій залежності від площі поперечного перерізу шва і визначається за эмпіричною формулою:

$$q_n = 150F \text{ (кал/см)},$$

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 багатопаровому зварюванні.

3.2.3. Вплив магнітного поля на дугу

Зварювальна дуга, як і будь-який інший провідник, взаємодіє з магнітним полем. Відхилення стовпа дуги від впливом магнітного поля називається *магнітним дуттям*. Струм, який проходить по зварювальних кабелях, електроду та дузі, створює навколо дуги і у зварюваному металі магнітне поле (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.

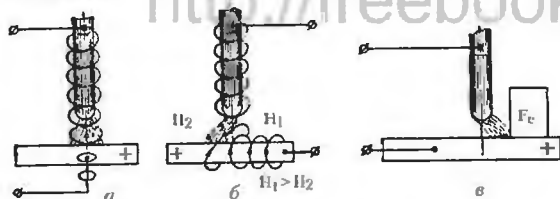


Рис. 3.4. Вплив магнітного поля на зварювальну дугу:

a — нормальне положення дуги; b — відхилення дуги за рахунок нерівномірної напруженості магнітного поля; v — відхилення дуги за допомогою феромагнітних мас; H_1 і H_2 — напруженість магнітного поля

Найчастіше магнітне дуття викликають масивні металеві вироб (великі феромагнітні маси), що розташовані поряд із зварною ванною і притягують дугу. Це може викликати несправарні, нерівномірне розплавлення кромок, потіснення зовнішнього вигляду шва. Дію магнітних полів можна послабити таким чином:

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

- змінити нахил електрода таким чином, щоб його нижній кінець був направлений у бік магнітного дуття;
- тимчасово розмістити додатковий феромагнітний матеріал (з протилежного 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 повина теплова поужитість 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°С, яка забезпечує його плавлення та утворення крапель розплавленого металу. Ці краплі під впливом сил поверхневого натягу, тяжіння, тиску газів, електростатичних й електродинамічних сил переносяться 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 величшою від тисячних часток міліметра до декількох міліметрів. За їх переноситься від однієї-двох до 150 крапель і більше. Вони завжди переміщуються вздовж осі електрода в напрямку зварної ванни незалежно від просторового розташування шва. При збільшенні сили зварювального струму розмір крапель зменшується, а кількість збільшується. При збільшенні ширини (довжини дуги) розмір крапель збільшується,

але зменшуються їх кількість. Струмлинне перенесення утворює дрібні краплі, які примують одна за одною у вигляді безперервного ланцюга (струменя). При цьому зменшується вигорання легуючих елементів і розбрикування, підвищується чистота металу шва та швидкість плавлення електрода. Струмлинне перенесення неможливе при зварюванні покритими електродами через низьку 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 стовна дуги й тепла приелектродної ділянки. Глибина та ширина проплавлення металу визначається концентрацією теплового й силового впливу дуги. Порівняно з неплавким електродом, дуга плавкого електрода має більший силовий вплив на зварну ванну. Тиск газового потоку становить 1% від тиску, створюваного електромагнітними силами.

Контрольні запитання та завдання

1. При яких видах зварювання відбувається краплинне перенесення електродного металу через дугу на виріб?
2. Як утворюється струмлинне 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.

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

$$C_p = \alpha_p \cdot I_m,$$

де C_p — продуктивність розплавлення, г/год; α_p — коефіцієнт розплавлення електрода, г/А·год; I_m — сила зварювального струму, А.

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

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

$$G_n = \alpha_n \cdot I_m,$$

де G_n — продуктивність наплавлення, г/год; α_n — коефіцієнт наплавлення, г/А·год; I_m — 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:

$$\alpha = \frac{C_p - G_n}{C_p} \cdot 100\%,$$

де α — коефіцієнт втрат електродного металу, який становить $3 \div 20\%$.

Втрати понад 20% роблять зварювання економічно невіддільним. При зменшенні діаметра електрода й збільшенні густини струму коефіцієнти розплавлення і наплавлення збільшуються. Збільшення напруги та швидкості зварювання в захисних газах призводить до підвищення витрат на розбрикування, 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:

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

Контрольні запитання та завдання

1. Як визначають продуктивність процесу зварювання?
2. Що називають продуктивністю 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 і зварної ванни призводить до розпаду (дисоціації) молекул кисню, азоту, водню на атоми та іони. У цьому стані гази стають дуже активними й вступають у хімічні з'єднання з металом шва, погіршуючи його пластичність.

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.

Короткотривалість 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 5 до 15°C.

4.1.1. Забруднення металу шва

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

Забрудненню металу шва можна запобігти такими способами:

- просушування зварювальних матеріалів для видалення вологі, кисню й водню;

- видалення іржі, масла та вологі з поверхні зварюваних 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, корозійності та ін.). Ці елементи вводяться до складу електродного дроту, присаджувального металу, електродного покриття або флюсу. При зварюванні легуючі елементи частково вигорять і неповністю переходять у шов. Це треба враховувати при виборі марки електрода, 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 кристаліти (зерна). Первинна кристалізація проходить при високих швидкостях охолодження окремими тонкими шарами. Після утворення першого шару відбувається затримка на охолодження через виділення прихованої теплоти. Потім кристалізується другий шар і т. д. до нового 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, електрошлаковому зварюванню, де проходить повільне охолодження металу шва.

При великому об'ємі зварної ванни і низькій швидкості охолодження збільшується розмір зерен і зникаються механічні властивості шва. Для подрібнення структури в рідкий метал вводять модифікатори (алюміній, титан, ванадій та ін.).

При кристалізації може виникати ліквіація — нерівномірний розподіл складових сплаву (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.

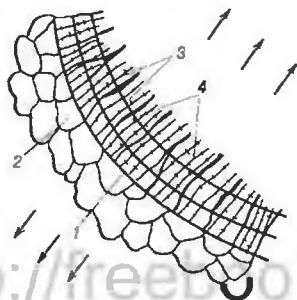


Рис. 4.1. Схема росту кристалітів:
1 — границя сплавлення; 2 — зерна основного металу; 3 — кристалізаційні шари; 4 — кристаліти

4.3. СТРУКТУРА ШВА ТА ЗОНА ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

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

— **метал шва** — це сплав, утворений переплавленням основним і шплавляємим 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):

— **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;

— **перегріву** — 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

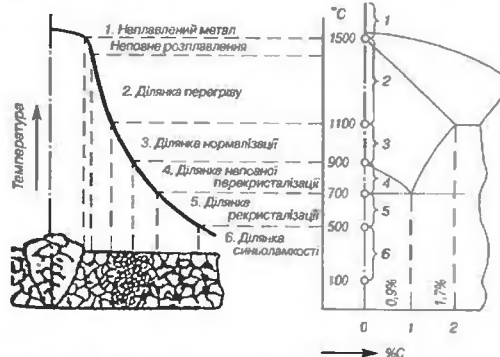


Рис. 4.3. Будова зони термічного впливу зварного з'єднання

– **нормалізації** – область основного металу (930–1100°C), набирає дрібнозернистої структури з найвищими механічними властивостями;

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

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

– **сильоламістості** – видимих 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, загальну термообробку в печах і повільне охолодження.

Коли зварюють середньо- і високовуглецеві сталі в зоні термічного впливу утворюються я гартовані структури, які підвищують твердість, крихкість, спричинюють внутрішні напруги 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 уникнути окиснювальних процесів при зварюванні?
2. Чому низьковуглецеві сталі можна зварювати без флюсів?
3. Як впливає водень на металургійні процеси при зварюванні?
4. Чим характеризується ділянка неповного розтавлення 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 сильоламістості?
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 на краях зерен, чим послаблюють міцність їх з'єднання.

На розташування неметалевих включень впливає форма шва. У глибоких і вузьких швах вони заплітаються між зернами, а в широким – витискуються на поверхню.

При утворенні між дендритами легкоплавких забруднень (сульфідів заліза FeS) у шві можуть виникнути гарячі тріщини. Переважно вони виникають при усадці металу в процесі кристалізації. Утворенню гарячих тріщин (черволамістості) 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 дрібнозернистої структури;

– виконують попередній та супровідний підігрів виробу для зменшення розтягуючих напруг.

У результаті виникнення в металі шва значних внутрішніх напруг при температурі нижче 300°C утворюються холодні тріщини. Вони поширюються по краях зерен або перетинають їх. Тому такі тріщини називають внутрішньоокристалічними. На схильність металу до утворення холодних тріщин впливають водень, фосфор, швидке 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 (холодоламістості) можна зменшити, застосовуючи такі заходи:

– використовують зварювальні матеріали з мінімальним вмістом фосфору;

– просушують електроди, флюси й захисні гази;

– виконують гаряче проковування швів після зварювання для зменшення внутрішніх напруг;

– 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 кращою при використанні простої технології, коли є широка межа режимів зварювання, у швах відсутні тріщини, пори, неметалеві включення 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 біляшовних тріщин;
- стійкість проти корозії;
- міцність, стійкість проти спрацювання, витривалість;
- величина внутрішніх напруг і деформацій;
- якість формування зварного шва.

Спосіб зварювання, зварювальні матеріали і техніку зварювання для кожного матеріалу вибирають залежно від основних показників його зварюваності. Не варто з'єднувати мідь з свинцем, утворюючи зварювання титану з вуглецевими сталлями і міддю, заліза із свинцем тощо.

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 середньколеговані 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 сталі також впливають хімічний склад електрода, режими 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 низькоколеговані сталі, які не гартуються та зварюються без обмежень, незалежно від товщини металу, конфігурації швів і жорсткості конструкцій в широкому інтервалі режимів зварювання. Для низькоколегованих сталей з вмістом вуглецю більше 0,16%, товщини понад 25 мм і жорсткії 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 низькоколеговані сталі з вмістом вуглецю від 0,14% до 0,22%. Такі сталі зварюються при температурі доквілля не вище + 5°C і товщини 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%, низькоколеговані й середньовуглецеві з вмістом вуглецю від 0,22% до 0,30%. Такі сталі схильні до утворення гартованих структур і зварюються з попереднім або сувопідним підігрівом при температурі 150–350°C, який знижує 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 проводять високий віджук при температурі 650°C, а для відповідальних виробів рекомендують термообробку;

4. **Погано зварювані сталі** — це середньовуглецеві (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 сувопідний 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 злами металів, роблять надрізи різальними

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

Для полегшення дослідження хімічного складу матеріалів розроблений портативний вакуумний рентгенівський флуоресцентний аналізатор (ручний сканер). За його допомогою можна провести хімічні випробування на місці, глибоко 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 — наприклад, алюміній, кремій. Особливої уваги потребує аналіз алюмінієвих сплавів, які широко використовуються в літакобудуванні й ракетній техніці.

Ручний сканер виявляє і такі «важкий» елемент, як враній, 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 виробів, 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 впливає на зварюваність сталі?
6. Назовіть особливості зварювання низьковуглецевих сталей.
7. Як зварюються середньо- і високовуглецеві сталі?
8. Як виконують аналіз хімічного складу матеріалів?

5.1. ОБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПОСТА

Зварювальним постом називається робоче місце зварника, обладане всім необхідним для виконання зварювальних робіт. Зварювальний пост укомплектовують джерелом живлення (трансформатор, випрямляч), зварювальними кабелями, електрододержачем або паливником, пристосуваннями, інструментами, засобами захисту.

Зварювальні пости можуть бути стаціонарні й пересувні.

Стаціонарні пости — це відкриті зверху kabini для зварювання виробів невеликих розмірів. Каркас kabini висотою 1800–2000 мм виготовляють із сталі. Для кращої вентиляції стіни kabini піднімають над підлогою на 200–250 мм. Їх виготовляють із сталі, азбестоцементних плит, інших негорючих матеріалів і фарбують вогнетривкою фарбою (цинковою, титановою білою, жовтою крою), яка добре поглинає ультрафіолетові промені зварювальної дуги. Дверний проміжок закривають брезентовою щирмою. Підлогу роблять з бетону, цегли, цементу.

Kabini повинні освітлюватись денним і штучним світлом і добре провітрюватись. Для роботи сидіачи, 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 кишені для електродів та їх відходів, інструменти (молоток, зубило, сталеві щіпка тощо) й текніологічну документацію. Для зручності при зварюванні встановлюють металеве крісло з діелектричним сидінням. Під ногами має бути гумовий килимок, а все обладнання kabini — 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 kabina зварювального поста?
3. Як обладнується зварювальний пост?
4. Чим комплектується зварювальний пост у монтажних умовах?
5. Чим відрізняється стаціонарний і пересувний зварювальний пост?

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 шлакового зварювання (Ш);
- за способом зварювання: для ручного, під флюсом (Ф), у захисних газах (Г), універсальний (У), в інертних газах (И), 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 похилиспадаючою 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:

- МІС – зварювання в інертних захисних газах (аргон, гелій);
- МАС – зварювання в активних захисних газах (вуглекислий 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. С. 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;

ПН112 розшифровується так П – напівавтомат, ПІ – шланговий, 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 застосовують дугове зварювання. Якість цих робіт залежить від властивостей і характеристик джерела живлення, що використовується при зварюванні. На сучасному ринку зварювального обладнання представлений широкий асортимент різних типів джерел живлення зварювальної дуги. Правильний вибір того чи іншого джерела живлення буває утруднений через обсягу інформації 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 випрямлячі, генератори, перетворювачі). Джерела струму характеризуються рядом параметрів, до яких відносяться:

- 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 багатопостового – 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. Однопостоті 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 вищій 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 плазмового зварювання можуть мати й більш високу напругу холостого ходу.

Визначальною характеристикою джерела живлення є залежність між напругою на штихлих 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 зовнішньої характеристики 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 об'єму силового трансформатора або інших електромагнітних вузлів) або штучною, одержаною за допомогою електронних засобів керування. Зовнішня характеристика повинна вибиратись так, щоб при зміні довжини дуги режим зварювання не зазнавав змін.

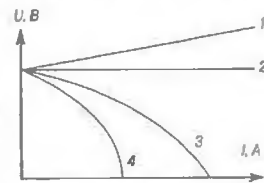


Рис. 5.1. Зовнішні характеристики джерел живлення:
1 – зростаюча; 2 – жорстка; 3 – похило-спадаюча; 4 – крутоспадаюча

Джерела живлення постійного та змінного струму з крутоспадаючою характеристикою використовують для ручного дугового зварювання вольтфрамодом, автоматичного зварювання під флюсом із регулюванням швидкості подачі електродного дроту залежно від напруги дуги. Завдяки підвищенні напруги холостого ходу забезпечується надійне початкове та повторне запалювання дуги. У випадку поєднання 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 глибина проплавлення. Струм короткого замикання порівняно невеликий, тому ризик бризкування електродного металу мале. 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 зміною її довжини, сиринують етіюкому 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 випадковому зменшенні довжини дуги опір її зменшиться, а зварювальний струм збільшиться; 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 похилоспадаючою характеристикою. Постійний струм зворотної полярності покращує зацалювання 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 режимів її горіння. Вони будуть задовільними, якщо час відновлення напруги після зацалювання дуги від 0 до 25 В не буде більший 0,05 с. В іншому разі після відриву електрода від виробу дуга може обірватися.

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

Тривалістю 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:

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

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

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

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

де t_n — 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 $t_{ох} = 2$ хв. Трансформатори механізованих способів зварювання виготовляють на ТВ = 60%, що означає: протягом 10 хв він буде працювати 6 хв, а 4 хв буде вимкнутий 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 використувати джерело живлення без перевантаження (перегрівання).

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

5 -
1

Контрольні запитання та завдання

1. Яким вимогам мають відповідати джерела живлення дуги?
2. Що означають зовнішні характеристики джерел живлення?
3. Якою може бути зовнішня вольт-амперна характеристика?
4. Які 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 електродами, на автоматах для зварювання під флюсом, для зварювання неглавними електродами в інертних газах (алюміній та його сплави), у спеціальних установках і при електршлаковому зварюванні. Джерела змінного струму порівняно дешеві й надійні у роботі.

Зварювальні трансформатори призначені для зниження напруги з 220 або 380 В до безпечної напруги, але достатньої для легкого запалювання 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 (осереддя), 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 вмикають паралельно до первинної обмотки.

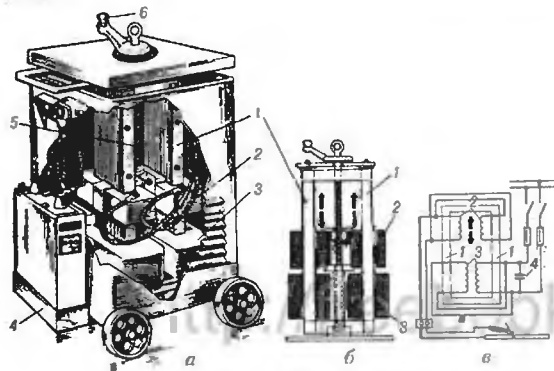


Рис. 5.2. Зварювальний трансформатор.

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 осереддя трансформатора, створюючи в ньому змінний магнітний потік. Випливаючи 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 3–6 разів більший первинного.

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

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

Зварювальний струм регулюють зміною напруги холостого ходу й опором трансформатора.

Плавне 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 розсіявання і струм зменшиться. Змінюючи розташування шунта забезпечують плавне регулювання зварювального струму. Використовують також і нерухомий магнітний шунт, який підмагнічується обмоткою керування постійного струму. Якщо в цій обмотці струм збільшити, то магнітний опір шунта зростає, магнітний потік розсіявання 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 використовуються одна первинна і одна вторинна обмотки, то опір трансформатора стає рівним індуктивному опору. Таким чином, при зміні з'єднань обмоток, отримують три ступені регулювання, або чотирикратну зміну струму.

Для ручного дугowego зварювання використовують трансформатори типу ТД, ТДП, ТСП із рухомими котушками; СПШ, ТДМ — із рухомими магнітними шунтами, а також ТСМ — із намоткою кабеля безосередньо 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 електрошлакового 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. Яка будова зварювального трансформатора із рухомими котушками?
6. Як здійснюється плавне регулювання струму в трансформаторі з рухомими котушками?
7. Якою повинні бути напруга холостого ходу?
8. Як є пристрій 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 вентилів — 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 малітної комутації (типу ВСЖ), які регулюються за допомогою дроселя насичення (типу ВДГ); із регулюванням тиристором (універсальні випрямлячі);
- за схемою випрямлення — однонапівперіодні, трифазні, шестифазні;

— за призначенням — для ручного дугового зварювання (зі спадаючими зовнішніми характеристиками), для механізованого зварювання під флюсом (зі спадаючими зовнішніми характеристиками), для механізованого зварювання у вуглекислому газі (з похиспадаючими зовнішніми характеристиками), універсальні (для всіх видів зварювання з круто- та похиспадаючими характеристиками).

Основними елементами випрямляча є трансформатор, регулюючий пристрій і напівпровідникові вентилі (селенові, кремнієві або германієві), які проводять струм тільки в одному напрямку (рис. 5.3). Для зменшення розбризкування електролітного металу та для згладжування пулі струму у коло постійного струму деяких випрямлячів умкають дросель.

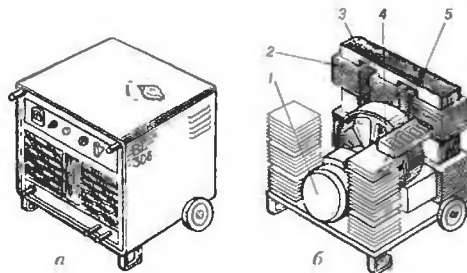


Рис. 5.3. Зварювальний випрямляч:

загальний (а) і внутрішній (б) вигляд; 1 — електродвигун; 2 — рухомі котушки; 3 — осердя трансформатора; 4 — перемічник дроселя; 5 — випрямний блок.

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 кільцевою схемою випрямлення.

Для ручного дугового зварювання використовуються випрямлячі типів 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 неплавким електро-

дом;

ММА — режим дугового зварювання покритим електродом;

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

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

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

У багатопостових випрямлячах типу ВДМ-1001, ВДМ-1601, ВДМ-3001 та інших, струм регулюється баластним резистором РБ-301, РБ-501, а напруга дуги при механізованому зварюванні у вуглекислому газі — баластним резистором 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 знизити у 4–5 разів масу джерела живлення, у 7–8 разів габарити устаткування, на 7–10% збільшити к.к.д., підвищити зварювальні властивості порівняно із звичайними джерелами живлення струму.

У тиристорних випрямлячах регулювання режиму зварювання та створення зовнішніх характеристик здійснюють за допомогою тиристорного ввірнювального 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 відкривання тиристора щодо початку спускої 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 ВПТМ-500 та ін.

Для малоамперної 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 вмикають у зварювальне коло послідовно з випрямлячем. Зварювальний струм регулюється плавно та безінерційно змінюю 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 вистосовують дляargonодного зварювання вольфрамовим електродом будь-якого металу малої товщини.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують зварювальні випрямлячі?
2. Яка будова зварювального випрямляча?
3. Охарактеризуйте принципи дії випрямляча.
4. Яку зовнішню характеристику повинні мати випрямлячі 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 багатопостового зварювання?

Зварювальний генератор є складовою частиною зварювальних перетворювачів і зварювальних агрегатів. Він призначений для перетворення механічної енергії приводного двигуна в електричну (рис. 5.4). Принципи дії генератора ґрунтуються на законі електромагнітної індукції. Змінний струм, який утворюється у рухомій частині — якорі при обертанні у постійному магнітному полі, випрямляють за допомогою колекторного пристрою або вентильного пристрою. Зварювальні генератори бувають одно- й багатопостові. Їх виготовляють із падаючою або жорсткою зовнішніми характеристиками. Генератори, що входять до комплексу зварювальних агрегатів і перетворювачів, мають падаючу зовнішню характеристику (типу ПСО). Генератор перетворювача типу ПСГ 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 навантажено.

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 вали з'єднані через спеціальні муфти).

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

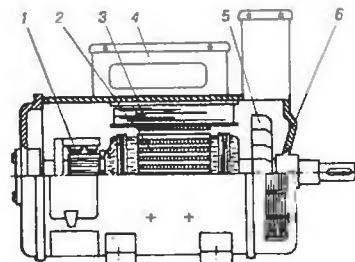


Рис. 5.4. Зварювальний генератор:

1 — колектор із струмозмінювачем; 2 — якор; 3 — полюс з обмоткою збудження; 4 — пристрій керування; 5 — вентилятор; 6 — корпус із підшипниковими щитками

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 розбрикування 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.

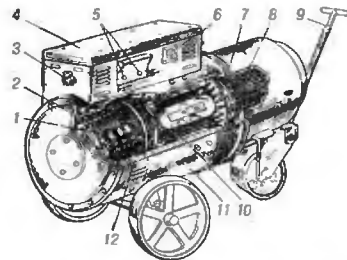
Для ручного зварювання використовуються перетворювачі типу ПСО-300-2, ПСО 315М, ПД-502 з колекторними генераторами та ПД-305 із вентильним генератором. Для механізованого зварювання плавним електродом у вуглекислому газі використовують перетворювач типу ПСГ-500. Усі перетворювачі оснащені привідними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

Зварювальний перетворювач ПСГ-500 (рис. 5.5) складається з генератора постійного струму ПСТ-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 витки обмотки. Початки і кінці кожної групи витків якоря приєднані 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 щіток самого генератора. Коли увімкнуті електродвигун, якор починає обертатися в магнітному полі. В його витках виникає змінний струм, який за допомогою колектора перетворюється у постійний. Вугільні щітки 2 знімають з колектора постійний струм,

Рис. 5.5. Зварювальний перетворювач:

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



який підводиться до затискачів 5 і до яких приєднуються зварювальні проводи. Для охолодження перетворювача на валі є вентилятор 7. Зварювальний струм регулюється зміною 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 крутити 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 привід 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 діапазоном струмів, необхідних для зварювання. Зварювальні агрегати використовуються в польових умовах та у випадках сильного коливання напруги 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 зварювальними генераторами (хоча промисловістю вони практично не випускаються), вентиляльними зварювальними генераторами постійного струму, а також агрегати на базі асинхронних генераторів.

До зварювальних 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-400VIII із генератором СПГ-3-VI й двигуном ЗИЛ-164 (для зварювання та різання на повітрі й над 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 чотирнополюсний 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 дощі затискачі є додаткові затискачі з позначками

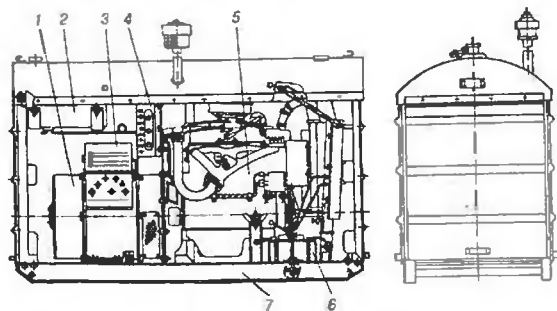


Рис. 5.6. Зварювальний агрегат:

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

граничних значень струму кожного діапазону, переходів перемичка та вивідні затискачі приєднання зварювальних кабелів. За допомогою перемички встановлюють певний діапазон струму. Для плавного регулювання зварювального струму в окремому кожусі вмонтований реостат.

Обертний момент від двигуна до генератора передається за допомогою сполучної муфти. На двигуні розміщені: стартер, генератор підзарядки, котушка і розподільник запалювання, свічки, датчики. Дляпуску двигуна використовують акумуляторну батарею 6СТ-60ЭМ.

На пульті керування розміщені: вимірвальні прилади, вмикачі, розетки, тяги дросельної та повітряної заслінок, ліхтар підсвічування.

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:

- АДД-303 з генератором ГСО-300-12 і двигуном Д144;
 - АДД-305 із генератором ГД-310 і двигуном Д144;
 - АДД-312 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;
 - АДД-304 із генератором ГД-307 і двигуном 4 ч 8,5/11;
 - АСДП-50 та АС-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 устатковують на майданчиках, у кузовах автомобілів, на причепах. До складу зварювального агрегату входять: дизельний двигун, зварювальний генератор, з'єднувальна муфта, реостат для регулювання зварювального струму, пульт керування, паливний бак, акумуляторна батарея, капот.

До зварювальних агрегатів із вентиляльними генераторами відносяться агрегати марок:

- АДБ-3120 із вентиляльним генератором ГД-314 і бензиновим двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДД-501 із двопостовим вентиляльним генератором і дизельним двигуном Д144;
- АДБ-3122 із вентиляльним генератором ГД-3121 і бензиновим двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДД-4002 із генератором ГД-4002 і двигуном Д144;
- АДД-3114 із генератором ГД-3122 і двоциліндровим дизельним двигуном Д214А;
- АДД-4×2501 із чотирিপостовим генератором і дизельним двигуном Д240.

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 ССП-3-V і двигуном постійного струму ПН-290;
- САМ-400-1 із генератором ССП-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. Як є види агрегатів?
3. Які двигуни використовуються в зварювальних агрегатах?
4. Яка будова зварювального агрегата з колекторним генератором і бензиновим двигуном?
5. Назвіть агрегати з дизельним двигуном.

5.9. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом в інертних газах використовуються спеціалізовані випрямлячі ВДГІ-302 та на його базі найвагоміші ПДІІ-303 й спеціальні генератори імпульсів типу ІІП-1 (для зварювання алюмінію, міді, титану в аргоні); ІІП-2, ГІ-ІДС-1, ГІД-1 (для зварювання сталей, кольорових металів і сплавів в аргоні, гелію, азоті та суміші аргону з киснем). 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 короткочасні 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 змінюються зварювальні деформації, забезпечується якісний формування шва та можливість зварювання у всіх просторових положеннях, підвищуються механічні властивості зварних з'єднань.

5.10. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОВОЇ ДУГИ

Для живлення плазмової дуги призначені стандартні зварювальні випрямлячі (типу ВДУ, ВСВУ), перетворювачі (типу ГСО) 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 інтенсивного стиснення стовна дуги рідиною або інертним газом у плазмотронах виникає плазма, температура якої може досягати 30 000°С. 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 збудження також з'єднуються послідовно і живляться від загального випрямляча, що забезпечує постійний режим роботи генераторів.

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 установок входять: джерело живлення, плазмотрон, шафа керування, осцилятор, переносний блок керування, газове й водяне обдління.

Апарат АМ-1 призначений для мікроплазмового зварювання тонких металів вольфрамовим електродом. Регулювання струму проводиться від 0,5 до 15 А при зміні робочій напрузі 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 ІІП-500, ІІП-120/600 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 (штиквою) зовнішніми характеристиками. Транзистори вмикються послідовно в коло дуги і призначені для плавного регулювання зварювального струму шляхом зміни струму бази транзисторів.

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблені трансисторні джерела живлення типу АП-4, АП-5, АП-6 для аргонодугового зварювання неплавким електродом. Вони складаються з силового трифазного трансформатора, випрямного блока, блока трансисторів 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 завантаження всіх трьох фаз мережі живлення. Процес зварювання здійснюється двома електродами, ізольованими один від одного завдяки використанню спеціального тримача, в якому підвішується струму до кожного електрода спеціальною рукояткою від двох фаз. Третя фаза підключена до виробу. За такою схемою одночасно горять три дуги: дві між електродами і зварюваним виробом, третя – між електродами.

Для ручного, автоматичного і електрошлакового зварювання призначені трифазні трансформатори типу ТСПШ-1000-3, ТСПШ-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 електродами використовують джерела живлення з крутоспадною 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 підмагнічуваним шунтом. Частіше використовують джерела постійного струму. На прямій полярності більше теплоти виділяється 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 тугоплавної оксидної плівки, що перешкоджає зварюванню.

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

Для зварювання неплавким електродом в неістних захисних в'язях хімічно активних металів і сплавів (алюмінію, титану, магнію, нерозжованих 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, та змінною – 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'єднати 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 розподілу 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 збудження;
- 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.

Піни використовуються 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 малоамперною та трифазною дугою?
4. Які установки призначені для зварювання неплавкими електродами?
5. У яких випадках застосовують паразитне з'єднання джерел живлення?

5.14. ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРИЛАДДА ЕЛЕКТРОЗВАРНИКА

Зварювальні пости комплектують джерелом живлення, електродотримачем, зварювальними проводами, щитком з світлофільтрами, різними інструментами для зачищення й вимірювання та іншими приладами.

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);
- пасажні — ЭП-2 (250 А), ЭП-3 (500 А), ЭД-1201 (125 А), ЭД-3102 (315 А), ЭД-5001 (500 А);
- захисні — ЭДС-1201 (125 А), ЭДС-3101 (315 А), ЭВ-3001 (315 А), ЭВ-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 електродів не менше ніж у двох положеннях — перпендикулярно та під кутом не менше 115° до осі електрода;
- забезпечувати швидко й легко зміну електродів (4 с);
- струмоведучі частини повинні бути надійно ізольовані від випадкового дотику із зварювальними виробами або руками зварника;

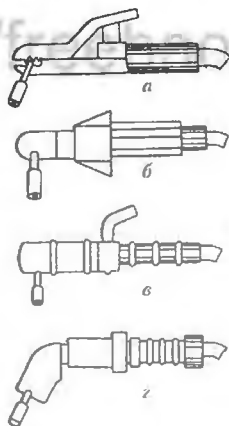


Рис. 5.7. Електродотримачі:
а — пасажний; б — гвинтовий;
в — важільний; г — захисний

- опір ізоляції має бути не менше 5 МОм;
- рукоятка має бути виготовлена з ізолюючого матеріалу довжиною не менше 120 мм;
- поперечний переріз рукоятки повинен вписуватися у коло діаметром не більше 40 мм.

Застосування саморобних електродотримачів забороняється. Електродотримачі повинні витримувати без ремонту 8 тис. затискань.

Проводи (кабелі) призначені для з'єднання електродотримачів (пальників) із джерелами живлення та підведення зварювального струму. Використовують гнучкі проводи з мідними або алюмінієвими жилами й гумовою ізоляцією марок РГД, РГДЮ, РГДВ, КРПГЦ, 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 вибірають залежно від сили зварювального струму із розрахунку 5–7 А/мм² (табл. 5.2). Кабель складається з великої кількості відпалених мідних дрітів діаметром 0,18–0,20 мм та буває одно- і двожильний.

Таблиця 5.2

Площа поперечного перерізу зварювальних проводів

Сила струму, А	Площа перерізу проводу, мм ²	
	одичарного	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 сполучні 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 підключати через приєднувальну муфту МС-3. Зворотний кабель приєднують клемми заземлення типу КЗ-2 та КЗП-12. Зворотним проводом можуть служити сталеві шини, зварювальні плити, стелажі й сама конструкція, якщо їх переріз забезпечує безпечне за умовами нагрівання проходження зварювального струму. Окремі елементи, які використовуються в якості зворотного проводу, повинні бути з'єднані між собою болтами, струбінками або затискачами. При проведенні зварювальних робіт у пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях

Світлофільтри, рекомендовані при дуговому зварюванні

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

Для роботи зварника випускаються спеціальні комплекти (КМ-125, КМ-315, КМ-500), які містять електродотримачі, сполучну муфту, зварювальний кабель, запасні частини до електродотримача, світлофільтри, записки, шлаковіддільник, металеву шпату. Виготовляють також набори інструментів ЕПН-300 та ЕПН-300/1 до комплекту яких входять електродотримач, клему заземлення, сполучна муфта, шпата, шпатель, шпатель, плоскогубці, розвідний ключ, клеймо, молоток, світлофільтри, відрізок кабелю (3 м).

Для виконання зварювальних робіт зварник повинен мати й допоміжний інструмент: молоток, зубило, напилки, сталеву шпату, шаблони, кутник, метр, висок, лінійку. Інколи зварювальний пост обладнують шліфувальною машиною, спеціальними кромкорізами, дрелями та ін. Інструменти та електроди слід зберігати в ящиках, сумках або пеналах. Для просушування електродів використовують спеціальні печі, шафи й пенали.

Для захисту очей та обличчя зварника від променів електричної дуги і бризок розплавленого металу застосовують шпатель або маску із спеціальними світлофільтрами (рис. 5.8). Їх виготовляють із чорної фібри або спеціальної пластмаси. Залежно від сили зварювального струму шпатель й маску оснащені світлофільтрами, які виготовляють із темно-синього скла марки ТС-3С двох видів: світлофільтри для нормального огляду (розмір 52x102 мм) і збільшеного (90x102 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 СІД 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).

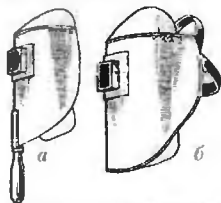


Рис. 5.8. Шпатель (а) і маска (б) електрозварника

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 СО₂

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

1. Повітряно-дугове поверхневе різання, зварювання й виплавлювання

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

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

² Сучасна індустрія охорони праці у зварювальному виробництві пропонує великий вибір зварювальних масок. Вони мають зручну конструкцію, малу масу, забезпечують тепловий захист голови і захист очей від світлового випромінювання зварювальної дуги. Практично у всіх масках забезпечене швидке автономне затемнення оглядового вікна залежно від величини зварювального струму (рис. 5.9).

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

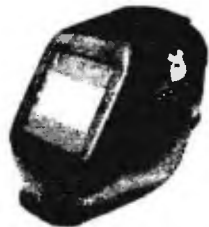


Рис. 5.9. Класична зварювальна маска з автономним затемненням оглядового вікна

Протягом останніх років в конструкції зварювальних масок вишк 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 розрізнити 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-

ють з брезенту, сукна, замші. Кишені мають закриватися клапанцями, кінці рукавів рекомендується зав'язувати, штани носити тільки на випуск. Голова повинна бути захищеною головним убором, а при монтажних роботах — шоломом (каскою). Для зниження шкідливого впливу на організм зварника пилу, шкідливих виділень, аерозолей застосовують місцеву та загальну вентиляцію, індивідуальні респіратори.

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 зварювальних постів?
5. Як повинно виконуватися з'єднання кінців зварювальних кабелів між собою?
6. Як вибирають переріз зварювального проводу?
7. Для чого призначені зварювальні шитки 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 мікрремонтне обслуговування, планові профілактичні огляди, плановий малий, середній і капітальний, а також незапланований ремонт. Всі роботи з обслуговування і ремонту виконуються відповідно до рекомендацій та вимог експлуатаційної документації обладнання. Тому зварник зобов'язаний ознайомитись із технічною документацією, що входить до комплекту зварювального устаткування, й керуватись правилами технічного обслуговування при його експлуатації. Для збереження обладнання, інструментів, оснащення зварювального поста та відповідальності за правильну їх експлуатацію за зварником або бригадиром закріплюють устаткування, що оформлюють спеціальним актом.

Мікрремонтне обслуговування включає усунення дрібних несприятливостей, заміну швидкозношуваних частин, перевірку й регулювання механізмів і приладів, заміну мастил, 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 підвищують термін використання, надійність і довговічність зварювального обладнання. Для цього зварник повинен проводити щоденні й періодичні огляди.

Перед початком роботи слід ретельно перевірити зазначення 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 (мегаометром), стан конденсаторів та елементів електричної схеми. Раз на 6 міс очищують контакти перемикачів діапазонів струму від мідного пилу, змачують мастилом ЦИАТИМ-201 контакти, а мастилом УТ-1 — термові частини 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. Який настрій робіт при періодичному обслуговуванні джерел живлення?

6.1. ВИДИ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Електрод — це металевий або неметалевий стрижень, призначений для відведення струму до зварювальної дуги. При ручному дуговому зварюванні використовують покриті електроди. Це покриті спеціальною оболонкою 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 сплавів тощо; неплавкі — із вольфраму та його сплавів, вугілля та графіту.

Плавкі електроди одночасно є й присаджувальним матеріалом. Неплавкі електроди тільки підводять зварювальний струм до дуги, а присаджувальний 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 холоднотягнутий гладкий дріт із низьковуглецевої й легованої 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 обертають водонепроникним папером і маркують металевю біркою, на якій вказують назву заводу, умовне позначення дроту, клеймо технічного контролю. За узгодженням із постачальниками, дріт може надходити в мотках прямокутного перерізу на котушках 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 висувають обидві сторони зварювального дроту.

У дротах із низьковуглецевої сталі вміст вуглецю доходить до 0,12%. Зварювальний дріт марок Св-08, Св-08А, Св-08АА виготовляють із кип'ячої сталі ($Si < 0,03\%$), а марки дроту Св-08ГА, Св-10ГА і Св-10Г2 — з напіснокійної сталі. У кип'ячих сталях концентрація вуглецю вища ніж кременю, що сприяє утворенню CO і CO_2 при високих температурах і кращою їх виходу із зварної ванни ще до повного затвердіння металу шва. Дроти із спокійної сталі викликають пористість (гази CO і CO_2 залишаються у вигляді зовнішніх відкритих пор), менше проплавлення, сильне розбризкування і гірше формування шва. При газозому та електрошлаковому зварюванні охолодження зварної ванни відбувається повільно, тому використання дроту із спокійної сталі пористості не викликає.

Для заповнення зазору між кромокми зварюваних деталей та утворення валика шва у зварну ванну вносять присадкувальний 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 присадкувальний 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-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮА, Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10ГМА, Св-08ХМ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-13Х2МФТ, Св-04Х2МА, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2М, Св-10Х12ГМТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08Х12ГМТА, Св-08Х12ГМЮ, Св-08Х12Г2СМЮ, Св-06Н3, Св-10Х5М
Високолегований (41 марка)	Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-04Х19Н19, Св-04Х19Н19, Св-08Х16Н18М2, Св-08Х18Н18Г2Б, Св-07Х18Н19ТЮ, Св-05Х19Н19Ф3С2, Св-07Х19Н110Б, Св-08Х19Н110Г2Б, Св-06Х19Н110М3Т, Св-04Х19Н11М3, Св-06Х20Н11М3ТБ, Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н11Г2Т, Св-06Х25Н11Г2ТЮ, Св-08Х25Н13ВТЮ, Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н19Г7Т, Св-08Х21Н10ГБ, Св-30Х25Н16Г, Св-10Х16Н125АМ6, Св-09Х16Н125М6АФ, Св-01Х23Н128М3Д3Т, Св-30Х15135В3Е3Т, Св-08Н150, Св-06Х15Н160М15, Св-08Х14ГНТ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-05Х20Н9ФБС

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 спарена 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.

- Присадкувальний 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;
 - присадкувальний метал повинен плавитися спокійно, без розбризкування;
 - вміст шкідливих домішок у присадкувальному металі повинен бути мінімальним.

6.2.2. Самозахисний дріт

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

При звичайному зварюванні відкритою дугою вигоряють легуючі елементи й шов насичується повітрям. У самозахисному дроті вигоряння компенсується за рахунок підвищеного вмісту елементів, які більше споріднені з киснем, ніж ті, що вигоряють. 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-15ГСТЮА — для зварювання вуглецевих і легованих сталей (додають церій та цирконій).

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

6.2.3. Дроти й прутики для зварювання та наплавлення чавуну

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

- А — для гарячого зварювання чавуну;
- Б — для зварювання чавуну з місцевим підігрівом (діаметром 4 мм, 6, 8, 10, 12 мм);
- НЧ-1 — для низькотемпературного зварювання теплостійких відливок;
- НЧ-2 — для низькотемпературного зварювання товстостінних відливок;
- БЧ; ХЧ — для зносостійкого наплавлення чавунів;
- ПАНЧ-11 (самозахисний) — висококісневий сплав для холодного зварювання та зварювання дефектів тонкостінних деталей з сірого, ковкого й висококиснотного чавунів (на постійному струмі прямої полярності).

При зварюванні чавунів широко застосовують порошкові самозащисні дроти марок:

- ПН-АНЧ2; ППЧ-3 — для гарячого зварювання крупних дефектів, які не піддаються поверхневому гартуванню;
- ППЧ-3М; ППЧ-6 — для гарячого зварювання крупних дефектів, які підлягають поверхневому гартуванню;
 - ППЧВ-1 — для гарячого зварювання дефектів рідкою й напіврідкою ванною або валичками;
 - ППАНЧ-5 — для гарячого зварювання дефектів валичками або напіврідкою ванною;
 - ППЧН-7 — для холодного зварювання наскрізних і не наскрізних дефектів на оброблюваних поверхнях;
 - ППЧМН-8 — для холодного зварювання не наскрізних дефектів на оброблюваних 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. Які бувають електроди?
3. Для чого призначений сталевий зварювальний дріт?
4. Яке умовне позначення зварювального дроту?
5. Які дроти і прутики 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 дріт 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 ГОСТ7871-75 передбачає випуск 14 марок дроту:

- Св-А97, Св-А85Т, Св-А5 (технічний алюміній);
- Св-АМц (алюмінієво-марганцевий);
- Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-АМг6, Св-АМг63, Св-АМг61, Св-1557 (алюмінієво-магнієвий);
- Св-АК5, Св-АК10 (алюмінієво-кремнієвий);
- Св-1201 (алюмінієво-мідний).

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 підвищенням вмістом деяких елементів, які в процесі зварювання можуть вигоріти або випаруватись.

У ІЗЗ ім. Е. О. Патона НАН України розроблені нові присадкувальні дроти, що містять скандій та цирконій й призначені для зварювання висококисневих сплавів алюмінію.

Дріт Св-АМг6 (Sc) зі сплаву систем Al – Mg – Sc – Zr рекомендують для зварювання алюмінієвих сплавів, до складу яких уходить 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 входить 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;
- Бр.КМц3-1 — для зварювання міді плавленням різними способами;
- Бр.ОЦ4-3 — для зварювання міді в захисних газах і для автоматичного зварювання міді й латуні під флюсом;

● МНЖТ5-1-0,2-0,2 – для зварювання міді та мідно-нікелевих сплавів у захисних газах, у т. ч. і в середовищі азоту; зварювання міді з латунями, бронзи з сталлями; зварювання мідно-нікелевих сплавів із латунями, бронзами та сталлями;

● Бр.АМц9-2 – для зварювання алюмінієво-марганцевої бронзи, мнш'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 електродом;

● 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 хромисті бронзи;

● ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-І; 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 аварювання 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; СНТ-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 аварювання нікелю, свинцю, 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 розкиснювачами (кремнієм, марганцем, титаном) марок

Н1; НП-1; НП-2; НМц2,5; НМцАТ3-1,5-0,6; НМцТК1,5-2,5-0,15, Х201Н80 (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 ливарних сплавів;

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

● Для зварювання срібла використовують срібний дріт з 0,5–1,0% Al (розкиснювач) або дріт, до складу якого входять рідкоземельні матеріали.

Для зварювання магнієвих сплавів випускають дріт марок МА1; МА2-1; МА13, 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

Наплавлювальні 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, вали, ролик (де проходить тертя металу із мащенням);

● Св-18Х1С (НВ240-300) – тертя металу з мащенням і без мащення (опорні ролики, натяжні колеса гусеничних машин, цапфи);

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

Св-06Х19Н9Т (НВ160-190); Св-08Х19Н9Ф2С2 (НВ200-230) — катодійно-корозійне спрацювання при температурах вище 450°С.

Для одержання наплавленого металу високої твердості використовують спеціальний сталевий наплавлювальний 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 наплавлювальний 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, вал, швидкої);

- Нп-50Г (НВ 200-270); Нп-65Г (НВ 230-310); Нп-40Х13 (НRC 45-50) — тертя металу без мащення із значним контактним навантаженням (осі оцирник роликів, кранові колеса, натяжні колеса гусеничних машин);

- Нп-40Х2Г2М (НRC 45-56); Нп-50 ХФА (НRC 43-50) — тертя металів із мащенням у поєднанні з динамічним навантаженням (підйомні й колінчасті вали, поворотні кулаки);

- Нп-30 ХГСА (НВ 220-300); Нп-30Х5 (НRC37-42); Нп-50ХНМ (НRC 40-50); Нп-50 Х6ФМС (42-48); Нп-50Х (НRC 32-38); Нп-45Х2В8Г (НRC 40-46); Нп-60Х3В10Ф (НRC42-50); Нп-45Х4В3ГФ (НRC38-45) — термічна втома, телозміни (прокатні валки, ковальсько-пресовий інструмент);

- Нп-40Х3Г2МФ (НRC 38-44) — ударно-абразивне спрацювання (ковші екскаваторів, ножі бульдозерів);

- Нп-Г13А (НВ220-280) — ударне спрацювання деталей із сталі 110Г13Л;

- Нп-20Х14 (НRC 32-38) — кавітаційно-корозійне спрацювання запірної арматури для пари і води;

- Нп-30Х13 (НRC 38-45) — гідро-абразивне спрацювання (плунжерні гідравлічних пресів, шийки колінчастих валів, гребні вали суден);

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

- Нп-Х15Н60 (НВ 180-220) — термічна втома при високій температурі (печі, ресторти);

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

- Нп-03Х15Н3517М6Б — корозійне спрацювання при підвищеній температурі (корпуси пускунів в атомно-енергетичному машинобудуванні, арматура хімічної промисловості).

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

Дріт постачають у мотках із внутрішнім діаметром від 150 до 750 мм і масою від 1,5 до 30 кг. Мотки зв'язують у бухти масою не більше 80 кг. Наплавлювальний дріт утворюють і зберігають ідентично зварювальному.

6.4.2. Порошковий дріт для наплавлення під флюсом

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти марок:

- ПП-АН20 — кранові колеса, вали, шківні, роликні конвеєри;
- ПП-25Х5ФМ — штифти гарячої штамповки, валки гарячої прокатки;

- ПП-АН103 — ножі холодного різання металу, гальмітні шківні;
- ПП-АН133 — катодійно-корозійне спрацювання при підвищених температурах тощо.

6.4.3. Самозахисний порошковий дріт для наплавлення

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

- ПП-ГП250 — осі, вали, колеса вагонів із сталей 25Л і 45Л;
- ПП-АН122 — колінчасті вали, хрестовинні карданні валів;
- ПП-АН130 — ножі гарячого різання, ковальський інструмент;
- ПП-АН135 — зуби й ковші екскаваторів;
- ПП-У10Х4Г2Р — котки та роликні гусеничних машин;
- ПП-АН106 — гідропресове 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 трубопрвідної арматури;
- Св-07Х25Н13 — корозійне спрацювання;
- Св-03Х22Н1Б — одношарове наплавлення сталей;

• Св-04Х19Н1М3 — 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 45х3 мм) — абразивне спрацювання робочих органів землерийних машин;
- ПЛ-АН171 (20х4) — інтенсивне газо- і гідроабразивне спрацювання деталей;
- ПЛ-АН111 (14х4) — абразивне спрацювання з помірними ударами при підвищених температурах до 600°C (пристрої доменних печей, колосники) 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-10Х14Н13, 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;
- СНПН-50, СНГН-55 — тертя металу, абразивне спрацювання з ударними навантаженнями і при підвищених температурах (вали, кулачки, клапани, шпеклі);
- НпЧ-2, НпЧ-3 — спрацювання чавунних 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-У10ХК63В5, HRC42-48) — стеліти 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 землеробок, дробарок, бурових долот тощо.

6.4.9. Чавунні прутки для наплавлення

Для підвищення стійкості проти спрацювання невідповідальних деталей (лемехів плугів, лап 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 наплавлявальні матеріали?
2. Як умовне позначення наплавлявальних дрозтів?
3. Які матеріали використовують для наплавлення твердих сплавів і чавунів?
4. Які марки зварювального дроту використовуються для наплавлення?
5. Які порошкові дрозти застосовують для наплавлення під флюсом?
6. Коли використовують електродні стрічки для наплавлення?
7. З якою метою виконують наплавлення твердими сплавами?

6.5. ПОРОШКОВИЙ ДРІТ І СТРІЧКА

Для зварювання та наплавлення використовують порошковий дріт і стрічку. Порошковий дріт для зварювання сталі складається з низьковуглецевої сталевий оболонки, в яку запресовуються порошки феросплавів (для легування металу), зв'язні порошки (для підвищення продуктивності та якісних показників), глино- і шлакоутворюючі компоненти (для захисту розплавленого металу від повітря шляхом виділення газів при розплавленні осердя).

Порошковий дріт виготовляють на спеціальних верстатах методом безперервного згорання в трубку стрічки шириною 8–20 мм і товщиною 0,2–1 мм і протягуванням через фільтри з одночасним заповненням порошком.

Порошковий дріт виготовляють діаметром від 1,6 до 3,6 мм різних конструкцій. Найчастіше використовуються дроти кільцевого перерізу (рис. 6.1 а). Для підвищення коефіцієнта наплавлення використовують дріт із однією або двома загнутими кромками (рис. 6.1 б, в). Кращий захист зварної ванни від зовнішнього середовища і вищі механічні властивості шва одержують при застосуванні двохаровних порошкових дротів (рис. 6.1 г). У якості зв'язників (шкати) використовують: рутило-целюлози, карбонатно-флюоритні (флюорит плавничий шпат СаF₂), флюорити, рутили, рутило-флюорити. Останні два види застосовують для зварювання з додатковим захистом у вуглекислому газі. Порошкові дроти зварюють у захисних газах, під шаром флюсу або відкритою дугою. Зварювання відкритою дугою застосовується у випадках, коли утруднене використання ручного, дугового або механізованого зварювання у захисних газах і під флюсом. При зварюванні порошковим дротом у захисних газах добре розкидається метал зварної ванни і зменшується кількість газових пор, що підвищує пластичність швів.

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.

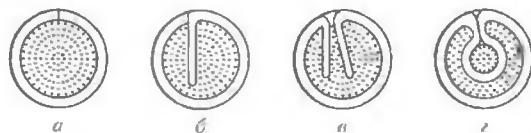


Рис. 6.1. Поперечний переріз порошкових дротів:

а — кільцевий; б — з однією загнутою кромкою, в — з двома загнутими кромками; г — двошаровий

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

Для зварювання сталей використовують порошкові дроти таких марок:

- самозахисні дроти загального призначення — ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН11, ПП-АН2М, ПП-АН23, ПП-2ДСК, 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-АН4, ПП-АН9, ПП-АН18, ПП-АН22, ПП-АН20, ПП-АН54;
- самозахисні дроти для зварювання з примусовим формуванням шва (з формувальними підкладками) — ПП-АН15, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН19С, ПП-2ВДСК, ПП-АН24;
- порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі з примусовим формуванням шва — ПП-АН5, ПП-АН3С;
- порошкові дроти спеціального призначення — ПП-АН (для зварювання під водою), ПП-АН6 (для зварювання труб теплообмінників);
- порошкові дроти для зварювання легуючих сталей — ПП-АНВ1, ПП-АНВ2, ПП-АНВ3, ПП-АН-А1 (дріт ПП-АН-А1 — для зварювання у вуглекислому газі, а решта дроти — самозахисні);
- самозахисний порошковий дріт фторидокорбонатного типу марки ПП-АН60 для зварювання у всіх просторових положеннях низьковуглецевих і низьколегітованих сталей (забезпечує високу міцність, ударну в'язкість, добре відокремлення шлаку, незначне розбрикування і виділення зварювального верзолу).

Для одержання більш широкого шару наплавленого металу та підвищення продуктивності наплавлення поверхонь 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 збільшує можливість легування наплавленого металу.

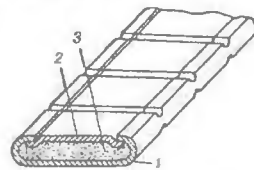


Рис. 6.2. Порошкова стрічка:

1 — нікель-стрічка; 2 — верхня стрічка; 3 — шкати

Для наплавлення використовують електродні порошкові дроти марок: ПЛ-У25Х25Г3Ф2Р, ПЛ-АН171, ПЛ-У40Х38Г3Р1Ю та ін., а також спеціальні електродні стрічки марок: ЛС-5Х4В3ФС, ЛС-70Х3ПМ, ЛС-10Х14Н3, ЛС-20Х10Г10Т та ін. Умовні позначення марок

порошкових дротів: ПП – порошковий дріт, ПЛ – порошкова стрічка, ЛС – стрічка спечена, наступні букви – умовні позначення легуючих елементів, а цифри після букв – їх вміст у відсотках. У деяких марках дроту і стрічки після дефіса вказують умовне позначення сплаву, яке складається з букви і цифри.

6.5.1. Порошкоподібні зварювальні матеріали

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

Контрольні запитання та завдання

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

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

Покриття електроди призначені для ручного дугового зварювання і наплавлення сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів. Це металеві стрижки з нанесенням 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 присадкувальним 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 розбрикування металу;
- високу продуктивність при незначних витратах;
- мінімальну токсичність.

Крім цього до електродів ставлять спеціальні вимоги:

- одержання швів із певними експлуатаційними властивостями (підвищена міцність, корозійостійкість, жорсткість, стійкість проти спрацювання тощо);
- одержання швів заданих характеристик (глибина провару, підслення, катет шва та ін.);
- використання визначених способів зварювання (просторове розташування, впрямання електрода тощо).

У якості електродного дроту використовують вуглецеві й леговані сталі, чавун, кольорові метали та сплави. До складу покриття (обмазки) вводять 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 ванну від повітря (марганцева руда, граніт, мармур, кремнезем, польовий шпат, плавиковий шпат та ін.).

Газоутворюючі речовини при нагріванні утворюють газу, які захищають зварну ванну від навколишнього середовища (мармур, доломіт, магнезит 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, молібден, 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 вводять пластифікатори (каолін, декстрини та ін.). Деякі речовини обмазки одночасно виконують декілька функцій – стабілізуючі, газоутворюючі та інші.

Шлак, що утворюється при плавленні покриття, можуть бути короткими й довгими. У **коротких шлаках** проходить швидке зростання в'язкості із зниженням 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 шлаки краще відділялися від поверхні шва, їхній коефіцієнт лінійного розширення повинен відрізнятись 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 швів такої ж якості як і основний метал. Стабілізуючі покриття мають товщину 0,1–0,3 мм і не впливають 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. Які вимоги ставляться до електродів?
3. З яких компонентів складається покриття електродів?
4. Охарактеризуйте довгі та короткі шлаки.

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 стрижня 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 дріб, у чисельнику та знаменнику якого вказуються характеристики електрода.

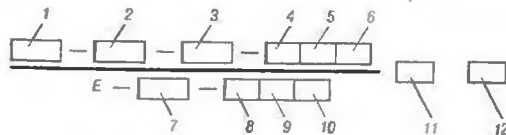


Рис. 6.3. Схема умовного позначення електродів:

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

1. **Тип електрода** характеризує мінімальний гарантований тимчасовий опір наплавленого металу електродом даного типу. Умовне позначення: Э — електрод, число після букви означає мінімальний опір, а буква А після штих — високу пластичність наплавленого металу. Наприклад, Э46А означає тип електрода за ГОСТом 9467-75 із мінімальним тимчасовим опором 460 МПа (46 кгс/мм²) і високими пластичними властивостями наплавленого металу порівняно з електродами відповідного типу без цієї букви. За типом електроди класифікують:

— для зварювання шпаквоуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей передбачаються типи електродів — Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55 Э60;

— для зварювання легованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву більше 600 МПа — Э70, Э85, Э100, Э125, Э150;

— для зварювання легованих теплостійких сталей — Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х5МФ, Э-10Х1МНБФ, Э-10Х3М1БФ;

— для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями — 49 типів (ГОСТ10052-75) Э-12Х13, Э-06Х13Н1, Э-08Х20Н19Г2Б та ін.;

— для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями — 44 типи (ГОСТ10051-75) Э-10Г2, Э-30Г2ХМ, Э-65Х1Н1З та ін.

В умовних позначеннях типів електродів теплостійких, 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 Э-08Х20Н19Г2Б 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 АГО-21, УОНИ-13/45, ОЗС-3 та ін. відповідають типу електрода Э46.

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 узаюнках електродів в умовному позначенні часто проставають тільки знак Ø — 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):

• У — для зварювання вуглецевих і шпакволегованих сталей з тимчасовим опором розриву менше 600 МПа;

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

• В – для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями;

• Г – для зварювання легованих теплостійких сталей;

• П – для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями.

5. **Товщина покриття** – залежно від відношення діаметра покрилого електрода D щодо діаметра електродного стрижня d електроди класифікують так (букви з 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 виконаного даними 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 отір розриву $\sigma_n = 370, 410, 430, \text{ і } 510 \text{ МПа}$ (відповідно 38, 42, 44 і 52 кгс/мм²), третя – відносне видовження $\delta_n, \%$ і критичну температуру крижкості T_k . Третя цифра характеризує одночасно δ і T_k , а якщо ці показники відповідають рівним індексам, то третій індекс установлюють за δ і в дужках наводять доданковий четвертий індекс, який характеризує T_k (табл. 6.2). T_k – мінімальна температура, при якій удари в'язкість на зразках з V-подібним сколом кромок не менше 0,35 МДж/м² (3,5 кгс·м/см²).

Таблиця 6.2

Індекси металу шва, виконаного електродами для зварювання конструкційних сталей з $\sigma_b \leq 600 \text{ МПа}$

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

В умовному позначенні електродів з $\sigma_b < 600 \text{ МПа}$ після букви Е тип не ставиться.

Наприклад, індекси Е 412 (5) означають:

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

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

Наприклад, індекси 09Г2Н10МХ-З означають:

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 ГОСТу 9467-75 є двозначним. Перша шифра характеризує T_k , а друга – максимальну робочу температуру, при якій регламентовані показники тривалої міцності наплавленого металу й металу шва.

Наприклад, індекси 27 означають:

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 14052-75) складається з чотирьох шифр для електродів, які забезпечують аустенітно-феритну структуру наплавленого металу, і з трьох шифр – для решти електродів. Індекси характеризують стійкість проти міжкристалічної корозії, жароміцність, жаростійкість і кількість фериту в металі шва (табл. 6.4).

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

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

Третя цифра характеризує максимальну робочу температуру зварних з'єднань, при якій допускається застосування електродів при зварюванні жаростійких 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	третья	четверта
0	—	—	—	Не регламентовано
1	А	< 500	< 600	0,5–4
2	АМ	510–550	610–650	2–4
3	Б	560–600	660–700	2–5,5
4	Д	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 (А) — кисле; Б (В) — основне; Р (R) — рутитове; Ц (С) — целюлозне; П (S) — інше; Ж — в покритті більше 20% залізного порошку (в дужках — іноземні умовні позначення виду покриття електродів).

Кисле покриття складається з кислих компонентів (кремнезем, марганцева руда, 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 відленню токсичних газів, тому виробництво електродів з великим покриттям скоротилося.

Основне покриття складається з плавикового швату, карбонату кальцію й магнію (крейда, мангезит, мармур). Метал шва характеризується високою ударною в'язкістю, стійкістю проти утворення кристалізаційних тріщин. Електроди з основним покриттям використовують для зварювання товстих металів із підвищенням вмісту сірки та фосфору, жорстких конструкцій виробів. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності. При доданні калію електроди з основним покриттям використовують на змінному струмі.

Недоліком основного покриття є висока чуждинність шлодоутворення пор при збільшенні довжини дуги, наявності іржі, масла, окислин й вологості на кромках металу.

Рутитове покриття складається з титанових сполук (рутид, титановий концентрат, ільменіт), які призначені для швидконого захисту, а також целюлози, крейди, мармуру, декстрину — для газового захисту. Розкиснення й легування проводяться феромарганцем. Рутитове покриття забезпечує є стабільне горіння дуги на змінному та постійному струмі, легке відлення шлаку, якісне формування шва, низькі витрати металу на розбрикування. Метал шва мало схильний до утворення пор при зварюванні у вертикальній, вологого та окисного металу при змінах довжини дуги.

Целюлозне покриття складається з органічних складових (целюлоза, крохмаль, харчове борошно, декстрин), які призначені для газового захисту шлакоутворюючих складових (рутин, карбонати, марганцева руда, алюмосилікати, титановий концентрат). Електроди цього виду мають мале покриття й тому їх використовують для зварювання у всіх просторових положеннях на змінному та постійному струмі. Недоліком електродів із целюлозним покриттям є вигоріння 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 класифікується таким 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 нижнього «у човник».

Електроди заводногого виробництва мають спеціальне умовне позначення у вигляді стрілок (рис. 6.4).

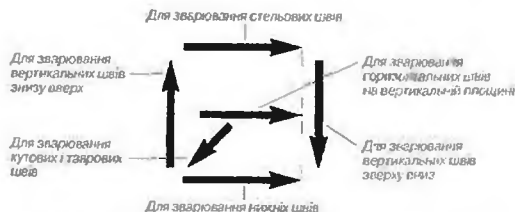


Рис. 6.4. Умовні позначення допустимих просторових положень зварювання електродів заводногого виробництва

10. Рід струму й полярність, номінальна напруга холодого ходу джерела живлення зварювальної дуги змінного струму в частоту 50 Гц позначаються цифрами (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

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

Рекомендована полярність постійного струму	Напруга холодого 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 покритті металеві електроди для ручного дугового зварювання.

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

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують влакві штучні електроди?
2. Які є види покриття електродів?
3. Яке призначення покриття електродів?
4. Що таке тип електрода?
5. Яке умовне позначення влаквих штучних електродів?
6. Які електроди використовуються при зварюванні?

6.8. ПРИЗНАЧЕННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Для зварювання й наплавлення вуглецевих і нікельколеваних конструкційних сталей використовуються електроди марок АНО-1, АНО-4, АНО-21, ОЗС-23, СМ-11, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, МР-3с (суціль, самовідокремлення шлаку), Е6013-1F HYUNDAI (з підвищеним дімовиділенням, аналог АНО-21), Е-7018 G HYUNDAI (з нижнім вмістом водню, аналог УОНИ-13/55) та ін.

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

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

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

Для зварювання різномірних сталей використовують електроди марок: ВИ-ИМ-1, АНЖУ-1, НИАТ-5, ОЗЛ-19 та ін.

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

Для наплавлення використовують електроди марок ОЗН-250У, ПР-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 високомірних сталей;
- АНЖР — для зварювання різномірних сталей;
- АНЧ — для зварювання чавунів;
- АНЦ — для зварювання мідних сплавів;
- УАНА — для зварювання алюмінію;
- АНГ — для зварювання методом похилого електрода;
- АНР — для різання металів.

Відомі підприємства випускають електроди з рутиловим (марка АНО-4, АНО-21, МР-3) та ільменітовим (марка АНО-6) покриттям. Ці електроди призначені для зварювання змінним і постійним струмом і користуються найбільшим попитом завдяки високим зварювальним властивостям, щільності швів при високій вологості покриття, можливості зварювання металу зі сльдами іржі та забруднень. З електродами рутилового та ільменітового покриття легко працювати зварювачам невисокої кваліфікації.

У менших об'ємах 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 ІЗЗ ім. С. О. Натона розроблено і налагоджено виробництво нового покоління ошадливо-легованих електродів, призначених для ручного електродугового зварювання конструкцій з високоміцних сталей. Електроди АНП-9, АНП-10, АНП-11, АНП-12 підвищують межу витривалості стиківих з'єднань у 1,5–1,7 рази, та врівнюють у 2 рази порівняно з електродами УОНИ-13/55, АНП-2.

Створені нові універсальні електроди з рутил-целюзовим покриттям АНО-36 і з рутилітним покриттям АНО-37, які відповідають типу Е46 і забезпечують «м'яке» горіння дуги, низьке розбризкування металу, добре формування шва. Освоєний випуск нових марок електродів із покриттям основного виду для зварювання труб АНО-ТМ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, які успішно конкурують з аналогічними загальної маркою електродами LB-52U.

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

Контрольні запитання та завдання

1. Які марки електродів використовують для зварювання вуглецевих і нізьколегованих сталей?
2. Які електроди застосовують для зварювання мідно-ороніх металів і сплавів?
3. Охарактеризуйте застосування електродів марки АНО.
4. Які 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 нізьковуглецевих і нізьколегованих 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 виконється механічна обробка зварюваного виробу. Електроди мають сталевий стрижень з нізьковуглецевого зварювального дроту Св-08 або Св-08А і покриття, до складу якого входять графіт, феросиліцій, карборунд, крейда, ілавіковий шпат і залізна окалина у різних пропорціях.

До сталевих електродів, покриття яких містить титан і ванадій, відносяться електроди марок ЦЧ-4 і СЧС-ТЗ. До складу покриття електродів ЦЧ-4 входять 70% ферованадію, тому їх використовують для зварювання високоміцного і ковкого чавуну. Для зварювання дефектів малих розмірів застосовують електроди ЦЧ-5 із сталевим стрижнем і покриттям із графітیزованими елементами.

Для виправлення дефектів чавунних деталей використовують електроди марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СГЧ-4, ЗПЧ із чавунними прутками марок А і Б. Прутки марок А використовують при газовому зварюванні і для стрижнів електродів при гарчачому зварюванні, марки Б — для стрижнів електродів при холодному і гарчачому зварюванні чавуну. Діаметр прутків становить 4 мм, 6, 8, 10 і 12 мм, довжина — 250 мм, 350, 450 мм. До складу покриття входять стабілізатори, шлагоутворюючі й легуючі компоненти. Чавунними електродами зварюють гілки в нізькому 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 обортають сталевим нізьковуглецевим стрічкою або дротом. Електроди ОЗЧ-1 мають мідний стрижень і товсте покриття із залізним порошком. Можливий сталевий стрижень із мідною оболонкою. Створені мідно-сталеві електроди з сталевого легovanого дроту марки ОХ18Н19, які покриті мідною оболонкою. На стрижні мідних електродів наносять крейдове покриття. Замість сталевий стрічки можуть використовуватися спеціальні покриття, які містять титанову руду, феросиліцій, першковий алюміній, графіт, мармур і ілавіковий шпат. 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 мідель-металу (28% міді, 2,5 заліза, 1,5% марганцю, решта — нікель) або з константанового дроту (40% нікелю, 1,5% марганцю,

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

При дуговому зварюванні вугільним електродом використовують приєднувальні прутики марки А і Б та флюси на основі бури, натрію, калію і інших компонентів, які застосовують для газового зварювання чавуну.

Контрольні запитання та завдання

1. Які сталеві електроди використовують для зварювання чавуну?
2. Які електроди з чавунними прутиками застосовують для зварювання чавуну?
3. Які є 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 металевими або вугільними електродами. Для зварювання плавкими електродами використовують електроди марок «Комсомолец-100», АІЩ/ОЗМ-2, ОЗБ-1, ЗТ, ММЗ-2, ОМЗ-1, ЕС-300. Електродні стрижні виготовляють із дроту М1, М2, М3, Бр.КМц3-1, Бр.ОФ4-0,25 і Л90. Покриття електродів складається з плавикової ошлату, марганцевої руди, польового шпату, сірого графіту, феросиліцію, феромарганцю і іоронікового алюмінію. Зварювання ведуть на постійному струмі зворотної полярності.

При зварюванні вугільним або графітовим електродом використовують прутики таких самих марок, як і для металевих електродів, а для покращення процесу зварювання застосовують спеціальні флюси. До складу флюсів уходять бура, металевий магній, фосфорнокислий натрій, кремнієва кислота, деревне вугілля, борна кислота і кухонна сіль. Флюси наносять на поверхню прутика і кромку, 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 покрит-

тям основного виду з великим вмістом розкиснювачів – алюмінію, графіту та ін. При зварюванні латуні вугільним електродом слугують прутики марок ЛК62-0,5; ЛМц60-4,5; ЛК80-3; Бр.ОМцА8-0,7-0,7 і флюси, що використовуються для зварювання міді.

Для зварювання бронзи застосовують покритті плавкі електроди з стрижнями, хімічний склад яких наближений до основного металу. Марганцеву бронзу зварюють електродами «Комсомолец-100», а деталі з бронзи Бр.АМц9-2 – електродами зі стрижнем такої ж марки і покриттям з криоліту, хлористого калію, алюмінієвого порошку, феромарганцю та ін. Для зварювання алюмінієвих бронз використовують електроди А1Мц/ЛК3-АБ. При зварюванні бронз вугільним електродом використовують прутики з ливарних бронз діаметром 5–10 мм такого ж хімічного складу, як і зварювані виріб. В якості флюсів застосовують буру, борну кислоту (для олов'яних бронз), хлористі та фтористі солі лужних і лужноземельних металів і криоліту (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, аргонодугового 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 нижньому 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 аргонодугового зварювання і зварювання вугільним електродом використовують зварювальний дріт, близький за хімічним складом з основним металом: Св-А97, Св-А85Т, Св-А5 (технічний алюміній), Св-АМц (алюмінієво-марганцевий), Св-АМц3, Св-АМц4,

Св-АМГ5 (алюмінієво-магнієвий), Св-АК5, Св-АК10 (алюмінієво-кремнієвий), Св 1201 (алюмінієво-мідний). При зварюванні вугільним електродом крім того використовують спеціальні флюси, які складаються з хлористих натрію, калію, літію, фтористих натрію і калію, сірчанокислого калію та кроліту. Пенявки електроди для аргондугового зварювання алюмінію виготовляють з вольфраму (ВЧ), із добавками торію (ВТ-15), тантану (ВЛ-10), ітрію (ВИ). В якості захисних 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 низьку міцність, сильне розбризкування, погане відокремлення шлаку, високу гігроскопічність покриття, необхідність підгіріву металу й шпаклю якість шва вони не відповідають сучасним вимогам.

Висвітлені електрозварюванням ім. С. О. Патона розроблені нові електроди серії УАНА для зварювання алюмінію та його сплавів. Основою покриття цих електродів є фториди й хлориди лужних і лужноземельних металів, за допомогою яких утворюється шлак і відповідно захист розплавленого металу від навколишнього середовища. У звичайних електродів в якості зв'язуючої речовини використовують рідке скло (водний розчин силікату натрію або калію), яке під впливом речовинних хлоридів і фторидів лужних і лужноземельних металів втрачає зв'язуючі властивості. Тому в нових електродів використовують зв'язуючу речовину, сумісшу з сильними електролітами.

Коефіцієнт наплавлення електродів серії УАНА 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 вологостійкій упаковці. Час між просушуванням і зварюванням не повинен перевищувати 24 год.

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності. Краще зварюються стикові шви, а гнурові, кутові й випуск застосовують менше через те, що можливе затікання шлаку в зазорі, з яких його важко видалити при промиванні гарячою водою після зварювання. Наявність шлаку може викликати корозію металу. Електроди УАНА забезпечують виражене формування шва, високу стабільність горіння дуги, легке відокремлення шлакової шкряпки та високу механічні властивості металу шва.

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

1. Які електроди використовують для зварювання технічного алюмінію?
2. Якими електродомі зварюють силуміни?
3. Які марки дроту використовують для аргондугового 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 погіршити якість електродів, є:

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

Унаслідок нецільового користування електродомі їх покриття може зруйнуватися. Особливо небезпечно відколю покриття на торці електрода, які в момент запалювання дуги викликають утворення «стартової» пористості шва. У процесі зварювання пошкодження покриття може відокремлюватися від стрижня, чим погіршує горіння дуги, викликає утворення пор і шлакових вклучень. Міцність покриття електродів зменшується при збільшенні їх діаметра і товщини покриття. Електроди з механічними пошкодженням покриття основного виду на практиці выбраковують, а інших видів 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. Одновимірним 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 електродів, виду покриття, термообробки і становить від 0,1 до 2% (лонгетимий вміст вологи в покритті вказують на етикетці даної марки електрода). Найчуждшими до поглинання вологи є електроди з основним видом покриття, а з рутильовим, кислотним і змішаним – менше чутливі (вміст вологи 0,5–0,9%). В електродомі із целюлозним покриттям вологість повинна становити 1,0–2,0%, а нижча може призвести до появи пор і розбризкування металу.

Старіння електродів залежить від впливу вологи на покриття та стрижень і проявляється в утворенні білого нальоту на поверхні покриття та корозії стрижня. Білий наліг є результатом взаємодії дугів рідкого скла з вуглекислим газом повітря й утворенням карбонатів натрію та калію. Наліг не впливає на зварювальні властивості електродів більшості марок, але посилює поглинання вологи, зменшує механічну міцність покриття. Корозія стрижня (іржавієння) знижує міцність покриття (викликає відшарування), сприяє утворенню пор. Тому низьководні електроди, покриті іржею, не використовують для зварювання.

При транспортуванні й складанні електродів забороняється кидати пачки, скидати їх на кучу, вкладати в стони 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 стикети та сертифікати на відповідність їх вимогам стандартів і технічних умов. Електроди слід зберігати в сухих опалювальних 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 двшаровий папір, поліетиленові плівки, пластмасові або металеві пенали. 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 й заповнення упаковки сухим газом перед її герметизацією.

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

На робочому місці зварник повинен захистити електроди від попадання води. Для цього використовують металеві ящики, пенали. 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 (термоізоіаах) при температурі $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ (незалежно від виду покриття). Для просушування електродів використовують сушильні шафи типу СНО, ЗОС, СНОЛ та електротермічні печі СНОП, які засто-

сують у виробничих зварювальних приміщеннях і в польових умовах. В якості нагрівальних елементів використовують підромовий дріт або трубчасті електронагрівачі. Не рекомендується зберігати електроди там, де зберігається і просушується робочий одяг.

Перед зварюванням перевіряють стан поверхні електродів: відсутність тріщин, дугтя, нальоту, відколів, концентричності покриття, відсутність іржі на торцях. Застосування 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. Захист оболонка покриття зварювальних електродів

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

Незахищеність від впливу навколишнього середовища (особливо при незадовільній упаковці), спричинює втрату зварювальними електродами експлуатаційних характеристик. Волога проникає в покриття і відповідно знижується стійкість горіння дуги й погіршується якість зварного шва. Поверхнєве забруднення сприяє насиченню шва газами, 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 контактні поверхні стрижня електрода. Це забезпечує необмежений термін їх зберігання. Така оболонка складається з гліцерину, фталевого ангідриду, ксилолу, смоли К-421-02, кальцієваної соди, сіалканина 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 використання на збереження гь 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 понижують потенціал іонізації, в результаті полегшується 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 вихання зварювального струму, а припиняти після вимкнення та охолодження електрода до його погеміння. 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 заточки повинна дорівнювати 2–3 діаметрам електрода.

Вугільні електроди (стрижні) виготовляють із електротехнічного вугілля (кокс, сажа, смола) шляхом дроблення, пресування й відпалу. Графітові електроди виготовляються з вугільних шляхом додаткової високотемпературної обробки – графізації. Такі електроди мають високу температуру пильвлення й кипіння та малу теплопровідність. Електропровідність графітових електродів у 3 рази вища вугільних, вивча стійкість проти окиснення, менші витрати. Для підвищення

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

Графітові електроди для зварювання і наплавлення відносно 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 гіттом, які мають осьовий отвір, зшпівнені легкоіспарюваними 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 шукт конуса і діаметр наконечника забезпечує збільшення терміну служби електрода, добре провідлення, дозволяє виконувати зварювання вузькою дугою без небезпек 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. Буль-яке відхилення від оптимальної форми має негативний вплив на якість шва. Подряпини та сліди шліфування сильно впливають на провідність електрода, тому що зварювальний струм проходить, в основному, на поверхневому шарі електрода. Важливо забезпечити шліфування вольфрамового електрода паралельно до його осі. Для оптимальної геометрії електроди треба, щоб чистота поверхні дорівнювала 0,5R_к. В електродах, шліфованих перпендикулярно до осі, або коли чистота їх поверхні більша 0,5R_к, струм протікає нестабільно, що викликає загортання дуги поза наконечником, її блукання, зменшення терміну служби електрода.

Контрольні запитання та завдання

1. Які електроди називають неплавкими?
2. Як в 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 шкідливого 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 шва від повітря.

Аргон є одностовпним 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) – шостого сорту (не менше 99,992% Ar) та першого сорту (99,987% Ar) для плазмової різання і зварювання плавками і металевим електродом;
- аргон високої чистоти (ТУ 6-21-12-79) – рідкий першого сорту (99,998% Ar), рідкий другого сорту (99,995% Ar) і газоподібний (99,995% Ar).

Аргон шостого 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 магнезійних сплавів; другого сорту – для зварювання виробів із чистого алюмінію, нержавіючих і жаропрочних сплавів.

Зберігають і транспортують аргон у сталевих суцільнозварюваних балонах у газоподібному стані під тиском 15 МПа (150 кгс/см²). У повному стандартному балоні місткістю 40 дм³ (л) знаходиться 150 × 40 = 6000 дм³ (6 м³) газу. Колір балона срібний, 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. Дуга, що горить у гелію, виділяє 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 балона коричневий, а напис – білий.

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

Вуглекислий газ (CO₂) є безколірний з незначним запахом. При підвищенні тиску він перетворюється в рідину, яку називають вуглекислою, а при сильному охолодженні (нижче –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.

Газ одержують із вапняків, коксу, антрацитів металом випалювання в спеціальних печах із природного й котельних газів та іншими способами. Густина рідкої вуглекислоти сильно змінюється при змінах температури і тому вуглекислота починається впасти масою, а не за об'ємом. При випаровуванні 1 кг вуглекислоти утворюється 509 дм³ (л) вуглекислого газу.

Випускають двома видами 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 (просушений) вуглекислий газ відрізняється від технічного 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 місткістю 40 л заливають 25 л вуглекислоти, при випаровуванні якої утворюється 15 120 л газу. Зварювальну вуглекислоту забороняється заливати в балоні з-під жарочови і технічної вуглекислоти тому, що вони можуть мати підвищену кількість пари води. Використовують вуглекислоту до тиску в балоні не менше 0,4 МПа.

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

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

Азот — газ без кольору й запаху, при температурі -196°C перетворюється на рідину. Він є інертним щодо міді. 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 крапці технологічні властивості мають **суміші газів**. Суміш з 70% He і 30% Ar збільшує продуктивність зварювання алюмінію, покращує формування шва, дозволяє наплавляти більший шар металу. Суміш вуглекислоти з киснем (2–5%) сприяє дрібнокристалічному перенесенню металу, покращує формування шва, зменшує розбризкування на 30–40%. Аргон-азотна суміш (86–88% Ar) покращує плазмове різання, а аргон-киснева (79–77% Ar) сприяє кращому зварюванню плавким електродом силіації у сильнокисневій атмосфері. Домішки вуглекислоти або кисню до аргону сприяють утворенню струмінного іскріння металу в дузі, зменшуючи при цьому розбризкування і покращуючи якість шва. Суміш аргону (90%) і водню (10%) використовується при зварюванні тонкого металу, забезпечує збільшення швидкості зварювання, зменшення зони термічного впливу і залишкових деформацій. Таку суміш застосовують при мікроплазмовому зварюванні. Водень забезпечує стискання стовпа дуги, робить його сконцентрованим.

Суміші інертних і активних газів (аргон, вуглекислий газ, кисень) мають технологічні переваги перед чистим вуглекислим газом. У даний час випускається випуск готової газової суміші марки АІАМІКС, 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.

1. Для чого використовуються захисні газ?
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 крієм, і також як захист 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 металургічний вплив на зварювальну ванну. З появою високошвидкісних низьколегированих сталей визначилась 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 електроннопроменевих процесах.

Інше призначення мають флюси, що застосовуються при газовому й дуговому зварюванні вугільним електродом. Такі флюси служать для видалення з металу шва неметалевих включень, для захисту від окиснення кромки металу й присаджувального 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 застатання;
- розкиснення металу шва;
- легування металу шва;
- зменшення витрат електродного металу на вигорання і розбрикування.

Зварювальні флюси класифікують за способом виготовлення, хімічним складом тощо.

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

Будова зерен плавленні флюсів поділяють на склоподібні і немзоподібні. Склоподібні флюси — це прозорі зерна різних відтінків, які одержують впливанням рідкого флюсу при температурі 1200°C у бак з проточною водою. Немзоподібні флюси — це зерна білого матеріалу різних відтінків, які одержують при впливанні рідкого флюсу, нагрітого до температури 1600°C, у воду. При цьому пара води стібно розплавлену масу, утворюючи немзоподібний флюс. Розмір зерен — від 0,2 до 4 мм. Краще формування шва спостерігається при використанні немзоподібних флюсів, а крайній захист зварної ванни забезпечує склоподібний флюс. Перевагою шваплених флюсів є надійний захист зварної ванни, якісне формування шва, легке відокремлення шлаку, низька вартість. Зберігають флюси в сухих приміщеннях у напорох міншак.

Неплавлені флюси одержують механічним змішуванням тонкоподріблених мінералів, феросплавів, силікатів, зв'язаних рідким склом без сплавлення. Широко використовують неплавлені керамічні флюси.

Керамічні флюси одержують шляхом змішування компонентів із рідким склом і наступним притиранням через сита або ж із використанням спеціальних грануляторів. Після подрібнення флюс просушують 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, окиснень. Керамічні флюси дуже гігроскопічні, тому їх зберігають у герметичних упаковках і жорсткій тарі (через низьку м'якість зерен).

За хімічним складом флюси поділяються на окисні, солеві й солеокисні. Оксидні складаються з оксидів металів із добавками фторидних сполук і використовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей. Солеві флюси складаються з фторидних і хлоридних солей металів і використовуються для зварювання шктивних металів. Солеокисні флюси складаються в 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 електрошлакового зварювання;
- для зварювання кольорових металів і сплавів;
- для наплавлення.

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей використовують флюси марок АП-348А, АП-348АМ, АП-348В, ОСЦ-45, АП-60, ФЦ-6, АНК-35, АП-37П, АП-20С та ін. Індекси, які стоять після назви марки флюсу означають: М — дрібний, С — склоподібний, П — немзоподібний.

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

Для електрошлакового зварювання використовують флюси наступних марок АП-8, АП-22, АПФ-1, АПФ-6, АПФ-7, АПФ-14У, АП-25, С-1.

Для зварювання кольорових металів і сплавів застосовують флюси наступних марок:

- АП-348-А, ОСЦ-45, АП-20С, АН-26С, АП-М1, АП-М13, АП-М15, АП-М10 — для механізованого зварювання міді та її сплавів;
- АП-301, АП-302, АП-304 — для електрошлакового зварювання алюмінію та його сплавів;
- ЖА-64, ЖА-64А — для механізованого зварювання під флюсом алюмінію та його сплавів;
- АПГ-1, АПГ-3, АПГ-7, АПГ-23А — для дугового зварювання під флюсом титану та його сплавів;
- АНТ-2, АПГ-4, АПГ-6 — для електрошлакового зварювання титану та його сплавів.

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

До окремої групи входять флюси для газового зварювання й зварювання вугільним електродом, які розчиняють оксиди та неметалеві включення металу шва. При цьому утворюється легкоплавка суміш, яка легко піднімається у шлак. Флюси використовують у вигляді порошків або паст. Для зварювання низьковуглецевих сталей їх не застосовують через утворення легкоплавких оксидів заліза, що вільно виходить 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 присаджувальний метал;
- флюс повинен мати достатню рідкотекучість;
- флюс не повинен спричиняти корозію швів;
- флюс повинен активно розкиснювати оксиди й переводити їх у більш легкоплавкі хімічні сполуки або видаляти їх з ванни;
- утворений шлак повинен добре захищати метал від окиснення киснем та азотом повітря;
- шлак повинен добре відокремлюватися від шва після зварювання;
- густина флюсу має бути меншою від густини основного й присаджувального металу, щоб шлак добре впливав на поверхню ванни і не заливався в метали шва.

Склад флюсу вибирають залежно від властивостей зварюваного металу.

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

основний оксид + кислотний оксид = сіля.

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

При зварюванні міді, латуні утворюються основні оксиди (Cu_2O , ZnO , FeO та ін.), тому для їх розчищення 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 дуговым зварюванні вугільним 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:

- пастоподібні твердіючі й лужнякі;
- пресовані у вигляді таблеток, шашок, в оболонках і без оболонки;
- ущільнені в горючих і негорючих оболонках;
- насадні для тигельного зварювання.

Застосування термітних стрижнів системи залізо-сталь напітнується 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 гілки 2, жердині якої розміщена екзотермічна суміш 3 і запалювальна головка 1. З протилежного боку, на відстані 0,1–0,2 довжини гілки від торця, встановлений штик 4, що розділяє екзотермічну суміш від порожнини 5, в яку вставляється тримач.

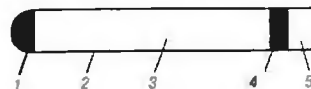


Рис. 6.5. Зварювальний олівець: 1 — запалювальна головка; 2 — гілка; 3 — екзотермічна суміш; 4 — штик; 5 — порожнина для вставлення тримача

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

Під час горіння виникає температура 2600–3000°C і виділяються пригараювальний 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 спокоевому з'єднанні	при з'єднанні внапуск
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. Ріжучі 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 розріджаного металу. Термін зберігання ріжучого 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 різа 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 етикетки олівця
	прутка	листа	
12	12	4	Рожевий
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 пусецевих і легованих 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 зварювання тріщин у корпусних конструкціях із чавуну при товщині стінки до 7 мм. Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ» наведені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ»

Марка	Зварювальний метал	Діаметр, довжина, мм	Довжина шва при використанні одного олівця, мм
«ОКСАЛ-1»	Вуглецева і легована сталь товщиною 0,5–1,5 мм	10 × 150	До 150
«ОКСАЛ-2»	Вуглецева і легована сталь товщиною 1,5–4,0 мм	15 × 150	До 130
«ОКСАЛ-3»	Вуглецева і легована сталь, мідь (дріт Ø12 мм)	15 × 210	До 180
«ОКСАЛ-4»	Чавун	15 × 150	До 100

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

Роботу в олівці виконують на відкритому повітрі або з використанням вентиляції. Для захисту очей застосовують захисні окуляри, а для захисту рук від можливих опіків рекомендують використовувати брезентові рукавиці.

Контрольні запитання та завдання

1. Яка будова зварювального олівця?
2. Охарактеризуйте процес зварювання термічними олівцями.
3. Які марки 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 число проходів, забезпечує зварювання на підвищених режимах, виключає перекаптовування виробів. 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 мадодабаритні, переносні підкладки, що застосовуються в одиничному виробництві та при ремонті.

Для зварювання односторонніх стикових швів використовуються підкладні матеріали таких типів:

КП-АІ-061 і КП-АІ-062 – профільовані вогнетривкі керамічні підкладки, які кріпляться на зворотній стороні шва металевими касетами, магнітними притискачами, дротом;

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

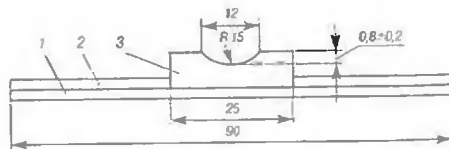


Рис. 6.6. Попере́чний переріз клеючої підкладки

1 — алюмінієва фольга з клеєм; 2 — антидифузійний папір (виділяється перед приклеюванням); 3 — скляний або керамічний елемент

ТЕХНОЛОГІЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

КП-АН-Д10/20, КП-АН-К10/40, КП-АН-Д12/40 — керамічні підкладки з вигнених трубок (діаметром 10 і 12 мм і довжиною 20 і 40 мм), які кривляться за допомогою засобів споживача;

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

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

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

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення підкладних матеріалів?
2. Які є види підкладних матеріалів?
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 кристалізації підкладних матеріалів.

7.1. ПІДГОТОВКА ТА СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

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

Кромки та прилеглу зону (шириною 20–30 мм з кожного боку) очищують від іржі, фарби, окислини, масла та інших забруднень до металевого блиску щітками, полум'ям, а при відповідальних з'єднаннях використовують травлення, анекспризи, піскоструменеву обробку.

Деталі з вм'ятинами, випинами, хвилястістю, жолобленнями та шкряпанцями 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, правильні машини.

Для перенесення розмірів деталі з креслення на метал використовують розмічання. При цьому користуються інструментами: лінійкою, кутником, циркулем, рисуwalkом, шаблонами. В процесі розмічання необхідно враховувати укорочення за оточок при зварюванні. Тому передбачають припуск з розрахунку 1 мм на кожній поперечній стік і 0,1–0,2 мм на 1 м поздовжнього шва.

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

Під зварювання деталі складають за такими сток обами:

- поліе складація виробу з наступним зварюванням усіх швів;
- почергове під'єднання деталей до вже звареної частини виробу;
- попереднє складання й зварювання виробу з окремих вузлів.

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

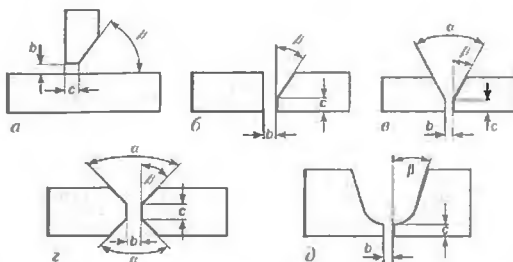


Рис. 7.1. Конструктивні елементи розширення кромки:

a — розширення однієї кромки в кутовому з'єднанні; *b* — розширення однієї кромки в стиковому з'єднанні; *в* — V-подібне розширення кромки в стиковому з'єднанні; *z* — X-подібне розширення кромки у стиковому з'єднанні; *д* — U-подібне розширення кромки у стиковому з'єднанні; *е* — кут розширення кромки (60–90°); β — кут похилу кромки (30–50°); *b* — зазор (1–4 мм); *с* — пригнуття кромки (1–3 мм)

розміри у нормальному стані й постійної форми (відсутність рубців, швів, задирок). Для циліндричних деталей вибирають подвійну напрямку базу — прями. При виборі баз необхідно враховувати наявність складальних пристосувань, вид заготовок, жорсткість деталей і точність їх взаємного розташування, зазори в з'єднаннях, зварювальні деформації тощо. Базова деталь визначає розташування вузла у виробі та орієнтує інші деталі й вузли зворотної конструкції.

Для складання та зварювання використовують різноманітні пристосування: скоби, упори, затискачі, епруветки, прихватки, 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 епруветка для складання деталей різного профілю (4);
- поворотний гвинтовий затискач для складання і кріплення деталей у масовому виробництві (5);
- кутниковий прихват із болтом для складання крупних конструкцій з листового матеріалу (6);
- скоба прихвата з ломом для конструкцій, які складаються вишпал у монтажних умовах (7);
- гребінка на прихватах для складання крупних листових конструкцій (8);
- прихватні шпайби з планками і клинами для складання листових конструкцій (9);

- гвинтовий стягувач для складання конструкцій з листового, шпайбового та профільного металу (10);
- стягувальні кільця для складання циліндрів і трубопроводів великого діаметра (11);
- гнучкий хомут з ексцентриковим затискачем для складання поздовжніх швів циліндричних деталей (12);
- гвинтовий розмірно-стягувальний пристрій для складання листових конструкцій і плоскостійких виробів (13);
- так із ломом для зближення кромки при монтажному складанні крупних листових конструкцій (14);
- гвинтовий розмір для складання циліндричних деталей (15);
- клиновий розмір для складання деталей машинобудівних конструкцій (16);
- гвинтова упорна скоба для складання деталей обмежених розмірів (17);
- односторонній гвинтовий упор для складання профілів ферм та інших конструкцій (18);
- односторонній упор для складання конструкцій на стаціонарних ностах (19).

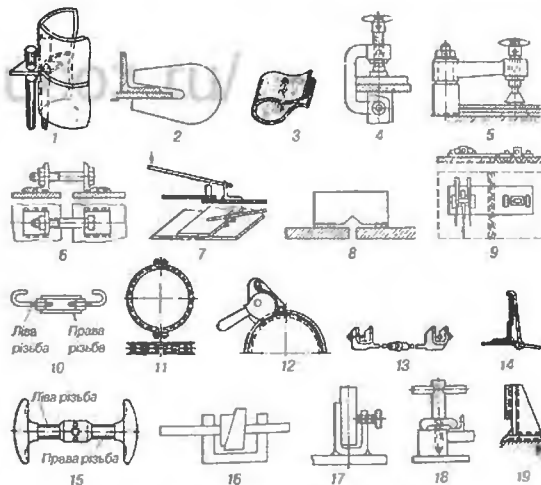


Рис. 7.2. Складально-зварні пристосування

Складені деталі з'єднують прихватами. 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 зазор між ними були постійними в процесі зварювання. Прихватами повинні проварювати корінь шва, тому що при накладанні основного шва вони можуть повністю не переплавитись.

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
Відстань між прихватами, мм	50–100	300–500

Висота підсилення прихваток повинна бути невеликою, краще якщо вона буде трохи увігнутою. Прихватами виконують на тих же режимах, що й зварювання.

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

Зварювальні прихватами — 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. Відстань між прихватами залежно від довжини шва становить 300–1000 мм. Інколи прихватами замінюють суцільним швом невеликого перерізу. Під час зварювання особливу увагу слід приділяти детальному проварюванню ділянок прихватки, щоб уникнути непровару в цих місцях.

Прихватами перешкоджають переміщенню деталей при нагріванні, що може викликати появу тріщин у прихватах від час охолодження. Чим більша товщина основного металу, тим більша розтягують усадка в прихватах і можлива поява тріщин. Тому прихватами застосовують для деталей невеликої товщини (до 6–8 мм). При більшій товщині листів рухливість деталей забезпечують за допомогою гребінок (еластичних прихваток) або складають вибір із гнучкими деталями (решітки, ферми 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 однакою товщиною. Конструктивні елементи підготовлених кромок і розміри зварного шва вибирають за більшою товщиною.

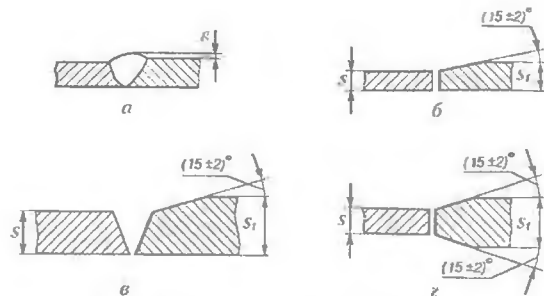


Рис. 7.3. Підготовка кромок деталей різної товщини

Допустима різниця між товщиною зварюваних деталей

Товщина тонкої деталі, мм	Різниця товщини 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 розтанування 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 зміцнення 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. Дopusкається підсилення або послаблення кутового шва до 30% його катета, але не більше 3 мм. При цьому послаблення не повинно призвести до зменшення розрахункового катета.

Дopusкається 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 (ТКФ 700, ТКФ 1500, ТКФ 104, ТКФ 1500 PLUS) німецького виробництва з електро- і пневмоприводом. Цей ручний інструмент із довідальним різцем сколює стружку з заготовок різних металів. Широко застосовують переносні електричні кромкосколюючі машини СПР-6, СПР-12 російського виробництва, обробка якими виконується шляхом сколювання кромок спеціальною фрезою.

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

Для вимірювання температури поверхонь при дуговому, газовому та зварюванні інших видів використовують температурні індикатори (оліви) й термофарби. Вони забезпечують точне вимірювання температури від 36°C до 1204°C. Існує 88 типів індикаторів. Це воскові стрижки, 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. Як пристосування використовують для складання деталей?

7.2. ОСНОВНІ ТИПИ ЗВАРНІХ 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 складів на залізобетонній і нікелевій 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

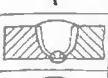










Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80)

Форма поперечного перерізу зварного шва	Умовне позначення з'єднання	Товщина зварюваних деталей, мм	Тип з'єднання	Форма підготовлених 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 скосу кромок	Однобічний
	C 4	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний на з'явній підкладці
	C 5	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний на підкладці, що залишається
	C 6	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний замкнутий
	C 7	2-5	Стикове	Без скосу кромок	Двобічний
	C 42	6-12	Стикове	Без скосу кромок із нагнутим струпаєм	Двобічний
	C 8	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний
	C 9	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний на з'явній підкладці

Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6
	С 10	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Одніобічний на підкладці, що залишається
	С 11	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Одніобічний замковий
	С 12	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Двобічний
	С 13	15-100	Стикове	Із криволінійним скосом однієї кромки	Двобічний
	С 14	15-100	Стикове	Із ламаним скосом однієї кромки	Двобічний
	С 15	8-100	Стикове	Із двома симетричними скосами однієї кромки	Двобічний
	С 16	30-120	Стикове	Із двома несиметричними криволінійними скосами однієї кромки	Двобічний
	С 43	12-100	Стикове	Із двома несиметричними скосами однієї кромки	Двобічний
	С 17	3-60	Стикове	Із скосом двох кромок	Одніобічний
	С 18	3-60	Стикове	Із скосом двох кромок	Одніобічний на знімній підкладці
	С 19	6-100	Стикове	Із скосом двох кромок	Одніобічний на підкладці, що залишається
	С 20	3-60	Стикове	Із скосом двох кромок	Одніобічний замковий
	С 21	3-60	Стикове	Із скосом двох кромок	Двобічний
	С 45	8-40	Стикове	Із скосом кромки із вступним ступінням	Двобічний


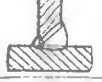





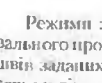
Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6
	С 23	15-100	Стикове	Із криволінійним скосом двох кромок	Двобічний
	С 24	15-100	Стикове	Із ламаним скосом двох кромок	Двобічний
	С 25	8-120	Стикове	Із двома симетричними скосами кромок	Двобічний
	С 26	30-175	Стикове	Із двома несиметричними криволінійними скосами кромок	Двобічний
	С 27	30-175	Стикове	Із двома несиметричними ламаними скосами кромок	Двобічний
	С 39	12-120	Стикове	Із двома несиметричними скосами кромок	Двобічний
	С 40	12-120	Стикове	Із двома несиметричними скосами кромок	Двобічний
	У 1	1-4	Кутове	Із відбортковою однієї кромки	Одніобічний
	У 2	1-12	Кутове	Із відбортковою однієї кромки	Одніобічний
	У 4	1-6	Кутове	Без скосу кромки	Одніобічний
	У 4	1-30	Кутове	Без скосу кромки	Одніобічний

Продовження таблиці 7.3

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

Закінчення таблиці 7.3

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

7.3. РЕЖИМИ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Режими зварювання — це сукупність різних факторів зварювального процесу, які забезпечують стійке горіння дуги і одержання швів заданих розмірів, форми та якості. До таких факторів відносяться: діаметр електрода, сила зварювального струму, тип і марка електрода, напруга на дугі, рід і полярність зварювального струму, швидкість зварювання, розташування шва у просторі, попередній підігрів і наступна термічна обробка.

Діаметр електродів не гарантується залежно від товщини зварюваного металу (табл. 7.4), типу зварютого з'єднання, розташування шва у просторі, розміри 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 і більше

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

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

$$F_1 = (6 \div 8) d_e^2$$

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:

$$F_{ш} = (8 \div 12) d_e^2$$

де $F_{ш}$ – площа поперечного перерізу наступних шарів, мм².

Знаючи площу поперечного перерізу розчищених кромок, можна визначити необхідну кількість шарів за формулою:

$$n = \frac{F_p - F_1}{F_{ш}} + 1$$

де F_p – площа поперечного перерізу розчищених кромок, мм²; n – кількість шарів (проходів).

Зварювальний струм установлюється залежно від вибраного діаметра електрода. Для зварювання в нижньому положенні шва його приблизно можна визначити за формулою:

$$I_{зв} = K d_e$$

де $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від типу електрода і його діаметра, А/мм (табл. 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	30-45	45-60

Для підбору сили зварювального струму можна використати досить спрощену формулу:

$$I_{зв} = (20 + 6 d_e) d_e$$

де $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; d_e – діаметр електрода, мм.

Якщо товщина металу менше $1,5 d_e$ при зварюванні в нижньому положенні, то $I_{зв}$ зменшують на 10-15% порівняно з розрахунковим. Якщо товщина металу більша $3 d_e$, то $I_{зв}$ 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 електродомі сили струму необхідно встановлювати відповідно з даними, вказаними в паспортах або сертифікатах на ці електроди.

Встановлену силу зварювального струму перевіряють контролем награвлення пробних валиків, визначаючи при цьому глибину провару, ширину шва та стійкість горіння дуги. Дябщина провару повинна становити 1-4 мм, а ширина шва має бути в межах, яку визначають за формулою:

$$e = (1 \div 4) d_e$$

де e – ширина шва, мм.

Горіння дуги повинне бути стійким при незначному розбризкуванні рідкого металу.

Відносно малий зварювальний струм призводить до нестійкого горіння дуги, несправу, низької продуктивності, а надмірно великий струм – до сильного нагрівання електрода, збільшення швидкості плавлення електрода і несправу, 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 навколишнього середовища, просторового розташування, умов

експлуатації виробу. Електроди повинні забезпечувати однорідність хімічного складу наплавленого металу з основним.

Напряг на дугі прямо залежить від довжини дуги і становить 16–40 В. Зварювати слід короткою дугою з напругою 16–20 В. Нормальною висхідною дугою довшою (0,5–1,1) d_e , залежно від тини 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. Застосовують постійний струм, установлюють прямий або зворотну полярність. На прямій полярності зварюють товсті метали, тому що на основному металі виділяється більше тепла.

Зворотну полярність використовують для зварювання тонких металів, щоб уникнути прожарів і при зварюванні високолегованих сталей для зменшення їх перегрівання.

Швидкість зварювання встановлюється залежно від вибраного способу зварювання, властивостей основного металу, характеристик 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 виконують у всіх просторових положеннях шва. Найручливішим є шове положення, яке забезпечує високу якість зварного шва.

Попередній підігрів і високовуглецевих сталей, схильних до утворення гартованих структур, чавунів, кольорових металів та їх сплавів. Температура її способи підігріву та термічної обробки залежать від хімічного складу, товщини її розмірів виробу.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називають режимом зварювання?
2. Охарактеризуйте режим ручного дугового зварювання покритими 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. ВПЛИВ 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 густину струму в електроді й глибоку провару, що пояснюється збільшенням тиску дуги. При ньому також зменшується ширина шва за рахунок зменшення катодної та анодної плям. 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.

Під впливом тиску дуги, який збільшується з ростом струму, розплавлений метал витискується з-під дуги, що призводить до накрізного пропалвлення. Напряг тиску дуги можна змінювати нахилом електрода до виробу. При зварюванні кутом вперед 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.

Напряг дуги мало впливає на глибину провару, зате 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 °С) практично не впливає на глибину провару й ширину шва. Суттєві зміни в бік збільшення спостерігаються при попередньому підігріві до 500 °С.

Контрольні запитання та завдання

1. Як впливають режим 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 задовільняла такі вимоги:

- легко і швидко запалюється;
- стійко горить;
- чутливість дуги до зміни її довжини в заданих межах повинна бути мінімальною;
- забезпечувати необхідне проплавлення основного металу.

Запалювання зварювальної дуги проводиться короткочасним дотиком кінця електрода до виробу. Внаслідок протікання струму короткого замикання і наявності контактної опору торець електрода швидко нагрівається до високої температури, при якій після відриву електрода під впливом термо- і автоелектронної емісії проходить іонізація газозного проміжку і виникає зварювальна дуга. Для цього зварнику необхідно відвести кінцевий електрод від основного металу на відстань 3–5 мм.

Запалювання дуги можна виконувати двома способами (рис. 7.4): впритул — короткочасним дотиком кінця електрода до поверхні виробу і її прямим відривом електрода після короткого замикання, а також широким — рухом кінця електрода як стрижнем.

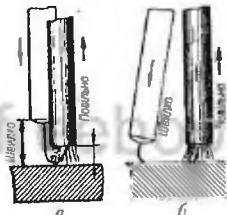


Рис. 7.4. Способи запалювання зварювальної дуги: а — впритул; б — широким

Застосування джерел живлення із стабілізаторами дуги змінного струму (СД-2, СД-3, СД-4), осциляторами (ОСНІЗ-300М, УНД-1), стабілізаторами постійного струму (ВІС-501, ВІР-101) полегшує початкове та повторне запалювання дуги і забезпечує можливість зварювання на змінному струмі електродами, призначеними 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 $(0,5 \cdot 1,2) d_e$ (d_e — діаметр стрижня електрода), залежно від типу і марки електрода та розташування шва у просторі. Збільшення довжини дуги знижує стійкість її горіння, глибину провару,

підвищує розбрикування металу, посилює шкідливий вплив накопиченого середовища, а зміщення 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, шириною $(0,8 \cdot 1,5) d_e$, нитковий шов (валік), який застосовують при виконанні першого шару багатопрохідного шва та при зварюванні тонких металів.

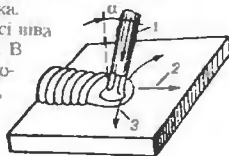


Рис. 7.5. Переміщення електрода у гробх напрямках:

1 — поступальний рух електрода; 2 — рух електрода вздовж осі шва; 3 — коливальні рухи; α — кут нахилу електрода

Третій рух (3) — це коливання кінця електрода впоперек шва для утворення валіка певної ширини, нормального провару кореня та кромок і уповільнення охолодження зварної ванни. Ширина одностороннього шва з коливальними рухами має становити $(2 \cdot 4) d_e$. Коливальні рухи електродом впоперек шва визначаються розмірами, формою та розташуванням шва у просторі і поділяються на три групи:

- для рівномірного прогрівання зварної ванни;
- для підсиленого прогрівання кореня шва;
- для підсиленого прогрівання кромок.

Найпоширенішими поперечними коливальними рухами є такі (рис. 7.6):

- а — прямі за ламаною лінією з кроком 2–3 мм (для зварювання листів устик без скосу кромок у нижньому положенні та коли неможливий провал металу);
- б — півмісцем, повернутим кінцями до наплавленого шва (для стикових швів зі скосом кромок і для куткових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні);
- в — швімісцем, повернутим кінцями в напрямку зварювання (для стикових швів зі скосом кромок і для куткових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні);

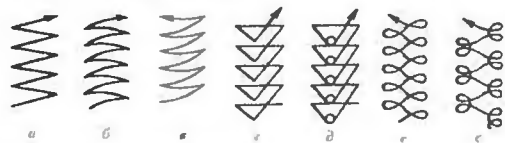


Рис. 7.6. Коливальні рухи кінцем електрода впоперек шва:

а — прямі за ламаною лінією; б — півмісцем, повернутим кінцями до шва; в — півмісцем, повернутим кінцями в напрямку зварювання; г — трикутником; д — трикутником із затримкою електрода в корені шва; е, е — петлеподібні

γ — трикутником (для стикових швів із скосом кромок у будь-якому положенні та для куткових швів із зметом білявіс 6 мм);

d — трикутником із заглибленням електрода в корені шва (для зварювання товстостінних конструкцій з гарячим проплавленням кореневої ділянки шва);

e, e' — пестелоподіби (для більшого прогріву кромок шва і при зварюванні листів із високолегітованих сталей, через їх високу текучість і щоб уникнути пропалів у центрі шва).

У рідкому металі при горінні дуги утворюється заглиблення — кратер, який є місцем накопичення неметалічних включень, що може призвести до виникнення тріщин. Тому при обриві дуги і при зміні електрода повторне запалення дуги слід виконувати перед кратером (рис. 7.7), потім перемістити електрод назад, розгарячивши метал кратера, і продовжити процес зварювання. При зварюванні увалюно слідкують за розплавленням кромок, кінця електрода, проваром кореня шва та не допускають затікання рідкого шлаку наперед дуги.

В кінці шва не можна відразу обривати дугу і залишити кратер. Це може спричинити появу тріщин через вміст у кратері шкідливих домішок, насамперед сірки й фосфору. Не рекомендується також зварювати кратер декількома обривами і запалювальними дугами через утворення оксидних забруднень металу. Зварювання закінчують зварюванням кратера. Для цього електрод тримають нерухомо до природного обриву дуги або сильно вкорочують дугу до частих коротких замикань, після чого дугу різко обривають. При зварюванні низьковуглецевих сталей кратер заповнюють електродним металом або виводять його на основний метал. У середньо- і високовуглецевих сталях, схильних до утворення гартованих структур, вивід кратера на основний метал не допустимий, через можливість утворення тріщин. Інколи кратер виводять на окрему технологічну пластину. В місцях повороту шов виконується без обриву дуги в один захід. Гасити її запалювати дугу на повороті шва не дозволяється.

Контрольні запитання та завдання

1. Як здійснюється запалювання дуги?
2. Як є способи запалювання дуги?
3. Як виконують поступальний рух електрода?
4. Який рух забезпечує підтримування певної довжини дуги?
5. Коли виконують коливальні рухи електродом?

6. Чим визначаються коливальні рухи електрода?
7. Що таке штовханий шов?
8. Як визначити довжину дуги?
9. Що називають кратером?
10. Як треба запалювати дугу після її обриву?
11. Де накопичуються неметалічні домішки?
12. Як завершують процес зварювання?

7.6. ЗВАРЮВАННЯ СТИКОВИХ ШВІВ У ПІДЖИНОМУ ПОЛОЖЕННІ

Стикові з'єднання без скосу кромок зварюють односторонніми швами із застосуванням електродів діаметром рівним товщині металу, якщо воно не перевищує 4 мм. Дугу збуджують із краю скосу кромки в точці А (рис. 7.8 а), а потім, перемістивши її вниз, проварюють корінь шва. На скосах кромок рух електрода уповільнюють, щоб краще їх проварити. При переході дуги з однієї кромки на іншу швидкість руху електрода збільшують для того, щоб уникнути і пропалу в місці зазору.

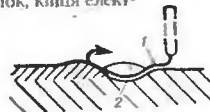


Рис. 7.7. Запалювання дуги після обриву:

1 — місце повторного запалювання; 2 — кратер

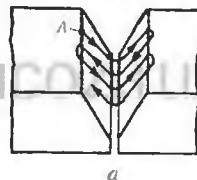


Рис. 7.8. Зварювання стикових швів: а — одностороннього; б — багатостороннього; 1—7 — послідовність накладання швів



Листи без скосу кромок товщиною 4–8 мм зварюють двостороннім швом. Тонколистовий метал товщиною до 1–2 мм зварюють із відборткуванням кромок або складають без зазору і зварюють на місцях чи сталевий підкладді, що залишається після зварювання. Це дає можливість уникнути наскрізних пропалів.

Метал товщиною понад 8 мм зварюють із розщипанням кромок. Залежно від товщини металу, шви виконують одношаровими, багатшаровими або багатшаровими. Великий кут розщипання кромок (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 розщипання 60°. Його збільшують до 65° для тонких листів і зменшують до 55° для листів товщиною понад 15 мм. При цьому зазор і пригнутлення кромок становить від 1,5 до 4,0 мм залежно від товщини листів, режимів зварювання й конструкції виробу.

Одношарові та однопрохідні шви з V-подібним скосом кромок виконують для металів товщиною від 4 до 8 мм із поперечними коливальними рухами у вигляді трикутника без затримки у корені шва (товщиною 4 мм) і затримкою у корені шва (8 мм).

Листи товщиною понад 8 мм зварюють багатшаровими або багатпрохідними швами з V-подібним (рис. 7.8 б) і X-подібним розчищеним кромок. Вибір багатшарового або багатпрохідного шва залежить від товщини зварюваного металу та його хімічного складу. Багатшаровий шов виконується швидше багатпрохідного. Після накладання кожного наступного шару попередній шар детально зачищають від шлаку. Багатпрохідний шов виконується тонкими й вузькими валиками без поперечних коливальних 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 більша 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 прорігрався і відпалювався, кожний шар шва повинен мати товщину не більше 4–5 мм і не менше 2 мм. При зварюванні з X-подібним скосом кромок металу товщиною 12 мм треба накладати 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;
- можливість непровар у корені шва розташований в нейтральному перерізі, тому менш небезпечний.

Стикові шви листів великої товщини (понад 20 мм) доцільно зварювати з криволінійним скосом двох кромок, що дає можливість застосовувати електроди великого діаметра, забезпечувати надійний провар і рівномірну усадку металу шва.

Для зменшення жолоблення виробу рекомендують виконувати шви почергово то з одного, то з іншого боку листа.

При зварюванні відловдальних конструкцій виконується зворотне підварювання кореня шва (рис. 7.9). Для цього виробляють зворотне і збулим, різцем чи фрезою утворюють в корені шва канавку шириною 8–10 мм і глибиною 3–4 мм. Цю канавку зварюють за один прохід підварним швом з невеликим підсиленням електродом

діаметром 3 мм. Останній прохідний 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.

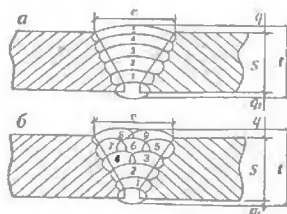


Рис. 7.9. Зварювання багатшарових і багатпрохідних швів із зворотним підварюванням кореня:

а — багатшаровий; б — багатпрохідний; e — ширина шва, S — товщина основного металу, f — товщина шва, q — підсилення шва, q1 — підсилення кореня шва; 1–9 — порядок накладання валиків

Таблиця 7.6
Орієнтовні режими зварювання стикових швів без скосу кромок

Товщина металу, мм	Шов	Зазор, мм	Діаметр електрода, мм	Середнє значення сили струму, А	
				норме положення шва	вертикальне 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 декоративного	Діаметр електрода, мм		Середнє значення сили струму, А		
			перший шар	наступні шари	положення шва		
					норме	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. Несумісність стикових швів забезпечують:

- провар кромки за перерізом і в корені шва;
- судійність металу шва (відсутність тріщин, пор, свищів, неметалевих включень);
- плавний перехід від шва до основного металу;
- зовнішня форма шва.

Найбільші труднощі викликає якісне сплавлення кромки у корені шва, бо наявність навіть невеликого непровару може стати джерелом руйнування з'єднання. Щоб уникнути непровару при зварюванні відстоядальних виробів, застосовують двосторонні шви з проміжним струтанням для видалення кореневої частини першого шару або підкладки (сталевої, мідної, графітової, флюсо-керамічної на латексній основі та ін.).

В інституті ім. Є. О. Патона розроблені гнучкі 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 перел накладанням тиснутого шару поперечній деталлю захищають?
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 внапуск. Зварювання кутових швів виконують похилим електродами і «у човник».

При зварюванні кутових швів «у човник» (рис. 7.10 а) наплавлений метал буде накладатися в жолоб, утворений двома полицками. Це забезпечує нормальний провар кореня шва і правильне його формування. Зварювання кутових швів «у човник» з товщиною листів до 14 мм можливе без з'єднання кромки (двобічне зварювання) або з часоковим розчищенням кромки і збільшенням розміром притуплення. Зазор між кромками не повинен перевищувати 10% товщини листа.

Для уникнення непровару й підрізів кромки, зварювання «у човник» краще вести електродами, який дозволяє вищину 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 полицці у точці А, відступивши від катета шва 3–4 мм. Потім дугу переміщують до верхньої шва, де її трохи затримують для крапного 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 напливати на ще холодний основний метал нижньої полицки, в результаті чого утвориться непровар. На вертикальній полицці можливе утворення підрізів. Прогрівання кромки досягається правильним положенням електрода, який треба тримати під кутом 45° до верхніх листів і виконувати поперечні коливаючі 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 коливаючих рухів).

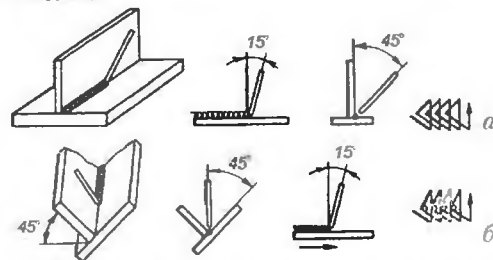


Рис. 7.11. Зварювання кутових швів із коливаючими рухами електрода: а — трикутником без затримки в корені шва; б — трикутником із затримкою в корені шва

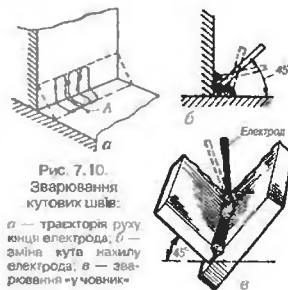


Рис. 7.10. Зварювання кутових швів:

а — траєкторія руху кінця електрода, б — зміна кута нахилу електрода, в — зварювання «у човник»

Кутові шви без скосу кромки із катетами більше 10 мм виконують в один шар, але з попередніми коливальними рухами електрода з трикутником із затримкою електрода 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 одношаровий шов. При товщині металу більше 4 мм зварюють у декілька шарів і проходів, а для кращого провару кореня шва перший прохід виконують шитковим швом електродом діаметром 3-4 мм без коливальних рухів.

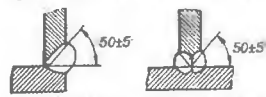


Рис. 7.12. Зварювання кутових швів: а — із скосом однієї кромки (однобічний); б — із скосом двох кромки (двобічний)

При накладанні кутових швів похилим електродом і «у човник» зварювати краще кутом назад. У багатошарових кутових швах, зварених похилим електродом, можливі нерівні катети, що допускається при прокатуванні зварних виробів.

Орієнтовні режими електрозварювання кутових швів вказані в табл. 7.8 і 7.9.

При накладанні кутових швів похилим електродом і «у човник» зварювати краще кутом назад. У багатошарових кутових швах, зварених похилим електродом, можливі нерівні катети, що допускається при прокатуванні зварних виробів.

Таблиця 7.8

**Орієнтовні режими зварювання кутових швів «у човник»
з використанням електрода**

Товщина зварних листів, мм	Катет шва, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А
4-6	5	5	250-300
6-8	6	6	300-350
10-14	8	8	480-560

Таблиця 7.9

Орієнтовні режими зварювання кутових швів зі скосом кромки

Вид шва	Товщина металу, мм	Число шарів або проходів	Діаметр електрода, 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

Примітка. Максимальне значення сили струму встановлюється за даними, вказаними у паспортіх електродів.

Контрольні запитання та завдання

1. Навіть способи зварювання кутових швів.
2. Де збуджують дугу при зварюванні похилим електродом?
3. Чому дугу затримують у верхній частині шва при зварюванні похилим електродом?
4. Що роблять для кращого проварювання кореня шва при кутловому 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 одношарові, багатошарові та багатопрхідні багатошарові шви. Багатошаровим називають шов, якщо число шарів рівне числу проходів. Багатопрхідним називають шов, якщо деякі шари виконуються за декілька проходів. У стикових з'єднаннях частіше використовують багатошарові шви, а в кутових з'єднаннях — багатопрхідні.

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 кожний 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 гіркою і застосуванням блочного методу (рис. 7.13).

Суть способу подвійного шару полягає в тому, що другий шар накладають на неохолоджений перший після видалення шлаку (рис. 7.13 а). Зварювання ведуть у протилежних напрямках. Це запобігає появі гарячих тріщин при товщині металу 15-20 мм.

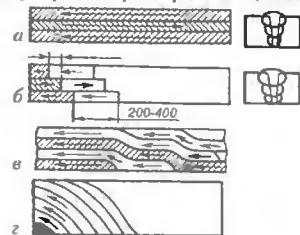


Рис. 7.13. Способи заповнення багатошарових швів: а — способом подвійного шару; б — секційним; в — каскадним; з — гіркою

Зварювання секціями (рис. 7.13 б) виконують по всій зварюваній товщині ділянками довжиною 200–400 мм. Довжину ділянки підбирають так, щоб метал у кінці шва мав температуру не менше 200°C. Кожний наступний валок накладається в протилежному напрямку. При цьому метал має високу пластичність і не утворюється 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 заглинюючись, продовжувати виконання першого шару на сусідній ділянці. Тоді кожний наступний шар накладається на попередній шар. Цей спосіб застосовують при товщині металу 20–25 мм і більше.

Зварювання гіркою (рис. 7.13 з) є різновидом катодного методу. Ведеться одним зварником проходами по всій товщині металу або двома зварниками одночасно від середини до країв. Зварювання гіркою та каскадом є зворотнеступінчастим зварюванням не тільки за довжиною, але й за перерізом шва.

Метод зварювання блоками полягає в тому, що шов на довжину ділянки завдовжки 1 м. Шов заповнюють 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 гартується.

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 зварні 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).

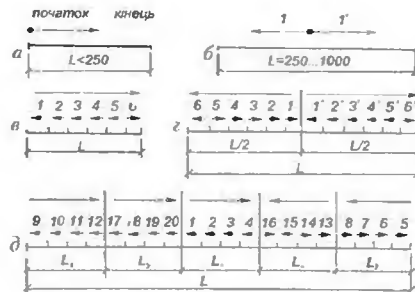


Рис. 7.14. Зварювання швів різної довжини:

а – «на прохід»; б – «від середини до країв»; в – зворотнеступінчастий; з – зворотнеступінчастий від середини до країв, д – зворотнеступінчастий уразкид

Щоб уникнути жолоблення деталей, при зварюванні швів середньої довжини застосовують такі способи: від середини до країв (рис. 7.14 б) і зворотнеступінчастий (рис. 7.14 в). При зворотнеступінчастому 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). Зворотнеступінчасте зварювання є ефективним методом зменшення внутрішніх напруг і деформацій при зварюванні.

Довгі шви зварюють від середини до країв зворотнеступінчастим способом (рис. 7.14 з). Для зварювання довгих швів доцільно організувати роботу одночасно двох зварників.

У багатшарових швах при зварюванні зворотнеступінчастим способом місця стиків швів суміжних шарів децю змищують один відносно іншого через те, що в місцях початку і закінчення шва найвища вірогідність утворення дефектів. При зварюванні довгих швів одним зварником застосовують зворотнеступінчастий спосіб уразкид (рис. 7.14 д), де шов розбивають на окремі ділянки і зварюють у різних напрямках.

При зварюванні металів різної товщини на більш товстому листі на ділянці довжиною 5S (S – товщина тоншого листа) роблять скіс з однієї або двох сторін до товщини більш тонкого листа, після чого підготовлюють 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 багатшарові шви зворотноступінчастим способом?
9. Якими способами виконують шви для рівномірного нагрівання металу шва по всій його довжині?
10. У яких з'єднаннях частіше використовують багаторічкові 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 скапують вниз. 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 вз'ємне притягування.

При зварюванні знизу вгору (рис. 7.16 а) дуга збуджується в найнижчій точці шва і після утворення зварної ванни електрод, спочатку встановлений горизонтально (положення 1), відподитья догорі

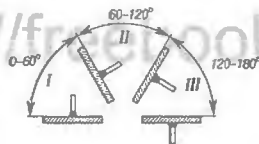


Рис. 7.15. Схема просторового розташування швів:

I — нижній; II — вертикальний та горизонтальний; III — стельовий

(положення 2) на кут 45–50°. При цьому нижня частина зварної ванни починає кристалізуватися і утворюється поділка, на якій утримуються краплі металу. Щоб ванні бігти витіканню металу з ванни необхідно здійснювати поперечні коливальні рухи електродом із відводом його вгору і почергово в різні сторони. Це забезпечує швидку кристалізацію рідкого металу.

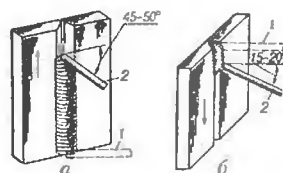


Рис. 7.16. Зварювання вертикальних швів:

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 нахилиють на 15–20° так, щоб дуга направлялась на основний і наплавлений метал. У цьому випадку рідкий метал частково підтікає під дугу і товщина металу збільшується, що дає можливість уникати прогалив. Тому зварювання зверху вниз використовують для зварювання тонких металів. Для зменшення скапування металу застосовують електроди з целюлозним або пластмасовим 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 з вищерайонним покриттям на зварювані кромки.

Горизонтальні шви (на вертикальній площині) зварювати складніше вертикальних (рис. 7.17). На верхньому листі можливі подрізи. 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 скапуванню рідкого металу скіс кромок виконують на одному верхньому листі (рис. 7.17 а) під кутом 50 ± 5°. Дуга при цьому збуджується на нижній горизонтальній кромці (положення 1), а потім переноситься

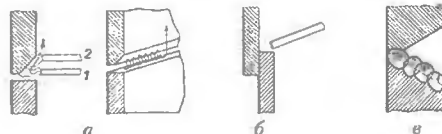


Рис. 7.17. Зварювання горизонтальних швів:

а — стикове з'єднання із скосом однієї кромки; 1 і 2 — послідовність руху електродів; б — стикове з'єднання із скосом двох кромок; 1–4 — порядок викладання швів

на похилій скіс (положення 2), піднімаючи дотори краю металу. Електродом виконують спіральні коливальні рухи. Горизонтальні шви випадають 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 відлягає уникнути стельового положення кратера з роздавленням металом. При зварюванні горизонтальних швів високу якість забезпечують електроди з целюлозним покриттям (виконують уваранням покриття в кромки металу).

Стельові шви зварювати найскладніше. Їх виконують зварники найвищої кваліфікації. Складність зварювання полягає в тому, що краплі металу намагаються скапувати вниз та утруднюється перенесення крапель із електродного металу у зварну ванну. Складністю можна уникнути, зменшуючи силу зварювального струму на 15–20% порівняно з нижнім воложенням, 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 краю металу під впливом сили поверхневого натягу втягується у зварну ванну, а коли електрод віддаляється, дуга гасне і метал шва кристалізується. Одночасно виконують поперечні коливальні рухи. Метал шва товщиною понад 8 мм зварюють багатопрохідними швами. При цьому перший валок виконують електродом діаметром 3 мм, а наступні — діаметром не більше 4 мм. Для зварювання стельових швів використовують електроди з вицарним у покриття.

При виконанні стельових швів за допомогою покритих електродів виділяються гази, які піднімаються вгору і можуть залишитися у шві. Тому електроди перед зварюванням необхідно добре просушити.

Понижені режими й незручність зварювання швів у різних просторових положеннях зменшують продуктивність зварювання. Тому, де можливо, вироби розташовують так, щоб зварювання проходило в нижньому положенні.

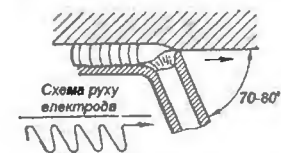


Рис. 7.18. Зварювання стельових швів

Зварні шви відповідно до ГОСТу 11969-79 за положенням у просторі мають такі умовні позначення: Н — нижній; П — стельове; Л — «у човниці»; В — вертикальне; Г — горизонтальне; Пв — напіввертикальне; Пг — напівгоризонтальне; Пш — напівстельове.

Згідно з кваліфікаційною системою Міжнародного інституту зварювання, прийняті такі умовні позначення швів у різних просторових положеннях:

- PA — зварювання швів у нижньому положенні;
- PG — вертикальне зверху вниз;
- PF — вертикальне знизу вгору;
- PC — горизонтальне;
- PE — стельове;
- PD — напівстельове;
- PB — напівгоризонтальне;
- J-I.045 — напіввертикальне зверху вниз;
- H-I.045 — напіввертикальне знизу вгору.

Контрольні запитання та завдання

1. Чому нижній шви найзручніші для зварювання?
2. Назвіть кут нахилу електрода при зварюванні нижніх 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. Яка особливість зварювання вертикальних швів знизу вгору?
7. Що роблять для запобігання скапуванню металу при зварюванні горизонтальних швів?
8. Який кут нахилу електрода при стельовому зварюванні?
9. Які заходи проти скапування металу при стельовому зварюванні?
10. Який кут нахилу електрода при вертикальному зварюванні зверху вниз?
11. Які умовні позначення швів у різних просторових положеннях?

ДЕФОРМАЦІЇ ТА НАПРУТИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

1. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ НАПРУГ І ДЕФОРМАЦІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Одною із властивостей металів є здатність змінювати розміри при зміні температури. При нагріванні метали вільно розширюються. Величина розширення залежить від температури нагрівання, коефіцієнта лінійного розширення металу.

Поряд з деформаціями й напрутами, що виникають у деталях під впливом прикладених навантажень, у них можуть бути й власні напруги та деформації, що існують навіть при відсутності зовнішніх сил.

Залежно від причин, які викликають власні напруги, розносять:

- теплові напруги (викликані нерівномірним розподілом температури при зварюванні);
- структурні напруги (виникають внаслідок структурних перетворень при нагріванні вище критичних температур).

Залежно від тривалості існування власні напруги й деформації мають:

- тимчасові (існують у конструкції в певний момент часу і зникають після охолодження виробу);
- залишкові (залишаються у конструкції після зникнення причин, які їх викликала).

Залежно від розмірів ділянки розрізняють три види напруг:

1. Напруги першого виду, які діють у великих об'ємах виробу;
2. Напруги другого виду, які існують у межах зерен металу;
3. Напруги третього виду, які існують у межах кристалічної решітки металу.

За напрямком дії розрізняють такі напруги та деформації:

- поздовжні (вздовж осі шва);
- поперечні (перпендикулярно осі шва).

За видом напруженого стану зварювання напруги бувають:

- лінійні (діють тільки по одній осі в одному напрямку);
- площинні (діють у двох напрямках);
- об'ємні (діють у трьох напрямках).

Напруги бувають розтягуючі й стискаючі. Власні зварювальні напруги в свою чергу можуть бути реактивні та залишкові. Реак-

тивні напруги виникають при зварюванні виробів, які знаходяться в жорстко закріпленому стані. Залишкові напруги 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 напруги й деформації. Якщо напруги перевищують границю текучості металу, то виникає пластична деформація. Це призводить до зміни розмірів, форми та короблення виробу. Якщо напруги перевищують границю міцності, то виникають тріщини.

Причини виникнення напруг і деформацій:

- нерівномірне нагрівання металу. При наявності жорстких зв'язків між нагрітими і холодними частинами металу утворюються стискаючі й розтягуючі напруги;

- ливарна усадка розплавленого металу — це зменшення об'єму металу при його охолодженні. В результаті жорсткого зв'язку з основним металом виникають внутрішні напруги в зварному з'єднанні. Вони бувають поздовжні й поперечні;

- структурні перетворення в металі виникають при зварюванні легированих і високовуглецевих сталей. При охолодженні змінюються розміри та взаємне розташування зерен, що супроводжується зміною об'єму металу і викликає внутрішні напруги.

Для зменшення внутрішніх напруг застосовують:

- попередній та супровідний підігрів — для сталей, схильних до гартування й утворення тріщин. Підігрівання зменшує пластичні деформації, залишкові напруги та сприятливо впливає на структуру металу швів й біляшовної зони;

- проковування швів — виконують по гарячому або по холодному металу. При цьому проходить розтискання металу в різні сторони, що знижує розтягуючі напруги. Шви на метали, 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 деформації — черговість накладання швів вибирають так, щоб кожен наступний викликав деформацію, зворотну до деформації, одержаної після попереднього шва (рис. 8.1 і 8.2);

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 напруг, 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 відпау 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 напруг і крихкості. Виріб нагрівають до 400–700°C, витримують із врахування 2,5 хв на 1 мм товщини металу і повільно охолоджують. При нагріванні нижче критичної температури (723°C), структури перетворення у шві не відбуваються.

При термообробці деталі нагрівають у печах, ямах, паливниками та ін.

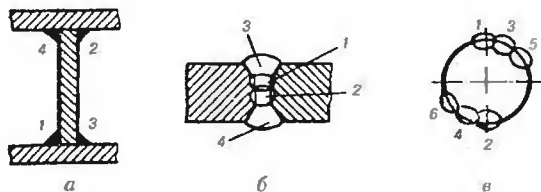


Рис. 8.1. Урівноваження деформацій:

a — при зварюванні двохаворних балок; *б* — при зварюванні стикового багатосарарового шва; *в* — при наплавленні вала годдовокими швами; 1–6 — послідовність накладання швів

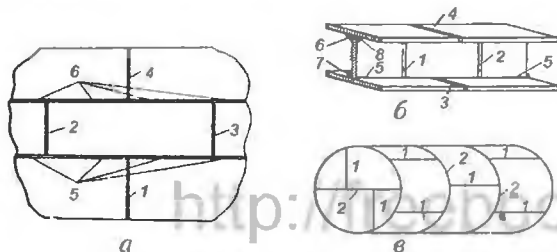


Рис. 8.2. Послідовність накладання швів:

a — при зварюванні листового матеріалу; *б* — при зварюванні двохаворних балок; *в* — при зварюванні циліндричної посудини; 1–8 — порядок накладання швів

— 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 виймають їх тільки після охолодження. При цьому можливе виникнення внутрішніх напруг;

— термічна обробка — відпал, нормалізація й відпуск — знижують внутрішні напруги, вирівнюють структуру шва та більшової зони.

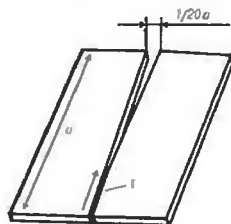


Рис. 8.3. Зворотна деформація:

a — довжина деталі; 1 — зварний шов

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 з'явлення залишкових напруг, 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 низькоенергоємний спосіб стабілізації геометричних розмірів металоконструкцій — вібраційну обробку. Суть цього методу полягає у створенні в металоконструкції змінних напруг певної величини за допомогою спеціальних вібробуджувачів (вібраторів). До змінних напруг додаються зварювальні, й при досягненні границі текучості проходить пластична деформація.

Остання сприяє зменшенню та перерозподілу напруг і підвищує стійкість матеріалів проти самовільного деформування.

Для віброобробки зварну конструкцію встановлюють на віброізлюючих опорах, прикріплюють струбнинами або болтами віброзбуджувач і датчик для реєстрації частоти та амплітуди коливань. Планово змінюючи частоту коливань від мінімальної до максимальної постійною резонансній частоті, на яких і проводять віброобробку металоконструкції.

Основними параметрами вібраційної обробки є амплітуда і тривалість вібронавантаження. При правильно вибраних режимах зниження залишкових напруг становить 40–60%. Використання вібраційної обробки в десятки разів скорочує цикл стабілізуючої обробки зварних конструкцій, зменшує споживання електроенергії, знижує витрати на очищення металоконструкцій та підготовку до ґрунтування й транспортування.

Широко використовуються механічні інерційні дебаланси віброзбуджувачі, які входять до складу установок У912, 489ПМ, ВКСР-200, Альфа-3, ВКС-90 та інші. Дебаланси віброзбуджувачі 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 одиничного, 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 деформації. 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, тепловідвідними підкладками й листами.

Способами активного навантаження зварюваних елементів є розтяг деталей в процесі зварювання, вибіраційна обробка під час зварювання та проколювання швів. Найефективнішим засобом попередження деформації 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 багатопарових швів, зварюють за методом урівнювання деформацій;
- деформації повинні бути рівні за величиною та зворотні за зварювальним напрямком;
- необхідно передбачати раціональну послідовність виконання складово-зварювальних операцій.

Якщо при зварюванні не вдається уникнути виникнення деформації, то виріб випрямляють холодним (механічним впливом), теплотом безударним і комбінованим способами (нагрівання з механічною дією). Холодне випрямлення виконують під пресом або валтяжем, прокатуванням роликми, у вальцях тощо. Цей спосіб використовують для видолення волокон зони зварних з'єднань. Теплове безударне випрямлення виконують нагріванням смуг, шлям 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 випрівнюванні залежить від температури нагрівання, потужності джерела нагрівання, розташування місця нагрівання, залишкових напруг, жорсткості конструкції, кріплення виробу та ін.

Оптимальну температуру при випрівнюванні визначають за умови одержання максимальних залишкових деформацій скорочення при мінімальних зворотних пластичних деформаціях видолення. Приклади деформованих елементів, зварних вузлів і режимів їх випрівнювання місцевим нагріванням наведені в табл. 8.1.

Комбінований спосіб передбачає нагрівання виробу з використанням механічного впливу із застосуванням скоб, прихватів, стяжок, домкратів або ударів кувалди (молотка). Цей спосіб використовують для скорочення волокон основного металу, щоб компенсувати скорочення зварних з'єднань.

Таблиця 8.1
Приклади деформованих елементів і зварних вузлів;
режими їх теплового виправлення

Елементи й частини конструкції	Розмір елементів конструкції, мм	Характер нагрівання	Температура нагрівання, °С	Номер наконечника пальника
	L до 12; h до 0,5; b до 12	Нагрівання кромки і ділянок $a = (0,6 \div 0,8)h$	650–700	5–6
	Шнелер до №20, лист товщиною до 8 мм	Смуги виш перек позички	700	5–6
	L до 12; h до 0,5; площа перерізу до 200 см ²	Трикутні ділянки на стінці й полиці	700	6–7
	a до 30; b до 16; a ₁ = 30–50; b ₁ = 16–30	Одні смуга d = 20–30 мм; дві смуги d ₁ = 30–40 мм	700–800	6–7
	h = 4–8; f до 6	Смуга нагрівання d ₁ = 20–30 мм за контуром випуклості. Плям нагрівання d ₂ = 50–70 мм у шпиговому порядку	700–800	6–7

Контрольні запитання та завдання

1. Що виникає, коли напруги перевищують границю текучості металу?
2. Що виникає, коли напруги перевищують границю міцності металу?
3. Що утворюється при наявності жорстких зв'язків між нагрітими й холодними частинами металу?
4. Що таке диварна усадка розплавленого металу?
5. Що таке структури перетворення в металі?
6. Що забезпечує поперидій і супровідний підігрів?
7. Що відбувається при прокованні швів?
8. Що забезпечує зворотнотупийчастий нарядок накладання швів?
9. Що таке врівноваження деформацій?
10. Як зменшують деформації за допомогою зворотніх 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 розплавлений 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 вище 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 багатошаровому 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 флосу 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;
- втрата металу на розбризкування, наявність газової апаратури, в деяких випадках необхідність водяного охолодження навішників.

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.

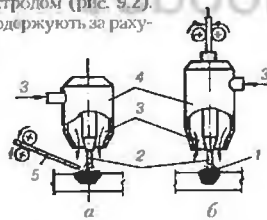


Рис. 9.2. Схеми зварювання в середовищі захисних газів:

а) б — неплавким і плавким електродом; 1 — зварювальна дуга; 2 — електрод; 3 — захисний газ; 4 — газове сопло пальника; 5 — присадковувальний 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

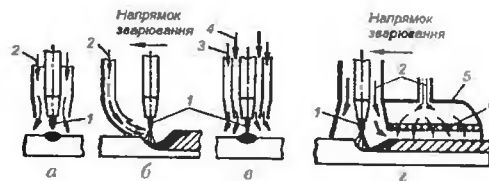


Рис. 9.3. Схеми подачі захисного газу в зону зварювання:

а — центральна; б — бокова; в — двома концентрованими потоками; 1 — в рухомому виміру (насадку); 2 — електрод; 3 — захисний газ; 4 — зовнішній і внутрішній підвіхисний газу; 5 — насадка; 6 — розподільна сітка

інертних газів використовується захист двома розділеними 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 (рухома камера; рис. 9.3 г). Надійний захист досягається при розташуванні виробу в стаціонарних камерах, заповнених захисним газом.

Основними різновидами зварювання є зварювання у вуглекислому газі та аргонодуте зварювання. Схему постів для зварювання в захисних газах наведено на рис. 9.4.

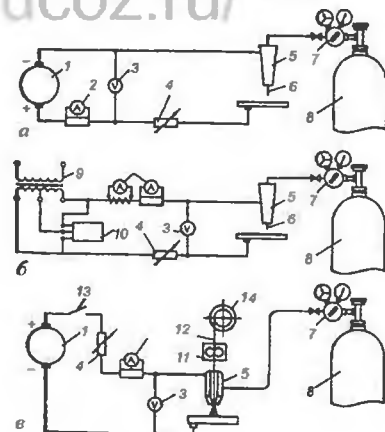


Рис. 9.4. Схеми зварювання в захисних газах:

а — неплавким електродом на постійну силу струму при високій зовнішній, б — неплавким електродом на змінному струмі; в — плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності; 1 — зварювальний перетворювач; 2 — амперметр; 3 — вольтметр; 4 — балансний резистор; 5 — наконечник пальника; 6 — вольфрамовий електрод; 7 — редуктор-вентильомітрату; 8 — балон із стиснутим газом; 9 — зварювальний трансформатор; 10 — осцилятор; 11 — механізм подачі дроту; 12 — електричний плавкий дріт; 13 — контакт контактора; 14 — котушка з дротом

Залежність методу зварювання, захисного газу і роду струму від металів, які зварюються, та їх товщини

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніша гауль застосування в будівництві й монтажі	Зварювання	Захисний газ	Струм
Вуглецеві та нізколеговані сталі	Більше 1	Решітчасті й листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви небагариної апаратури	Автоматичне, напівавтоматичне плавким електродом	Вуглекислий газ, суміш вуглекислого газу з киснем до 30%, суміш аргоноу з вуглекислим газом (90+10%), аргон 2-го сорту	Постійний зворотної полярності
	0,5-3	Тонколистові 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 нешпаквним електродом	Нержавіючі: аргон 2-го сорту, гелій, жаропрочні: аргон 1-го сорту, гелій	Постійний прямої полярності та змінний
Нержавіючі й жаропрочні сталі	1 і більше	Листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви небагариної апаратури	Автоматичне й напівавтоматичне плавким електродом	Нержавіючі: аргон 2-го сорту, гелій, вуглекислий газ, суміш аргоноу й вуглекислого газу (90+10%). Жаропрочні: аргон 2-го сорту, гелій	Постійний зворотної полярності
Мідь і її сплави	0,5 і більше	Листові конструкції і трубопроводи	Ручне й механізоване нешпаквним електродом	Аргон 2-го сорту	Постійний прямої полярності та змінний
	3 і більше		Автоматичне й напівавтоматичне плавким електродом	Аргон 2-го сорту, гелій, азот, суміш аргоноу і азоту (20-30%)	Постійний зворотної полярності

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніша гауль 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 небагариної апаратури	Ручне й механізоване нешпаквним електродом	Аргон 1-го сорту	Змінний
	2 і більше		Автоматичне й напівавтоматичне нешпаквним електродом	Аргон 1-го і 2-го сорту, суміш аргоноу і гелію (35+65%)	Постійний зворотної полярності
Титан та його сплави	0,5 і більше	Листові конструкції, трубопроводи й монтажні шви небагариної апаратури	Ручне й механізоване нешпаквним електродом	Аргон високого сорту	Постійний прямої полярності
	3 і більше	Листові конструкції й монтажні шви небагариної апаратури	Автоматичне й напівавтоматичне плавким електродом	Аргон високого 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 прямий ленточний забезпечується краща стабільність дуги, незначні витрати вольфрамового електроду та можливість зварювання на великому струмі.

При зварюванні на зворотної полярності погіршується стійкість горіння дуги, підвищуються втрати вольфраму.

Але дуга зворотної полярності має й позитивні властивості:

— добре очищає поверхню металу, який зварюється, від оксидів і забруднень;

— позитивні важкі іони аргоноу, що утворюються під дією електричного поля, рухаючись від електрода (+) до виробу (-), руйнують оксидну плівку і забруднення.

Це явище називається катодним рихпленням.

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 рихплення спостерігається, коли виріб стає катодом.

Через зміну полярності вольфрамовий електрод не переривається, 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. Газ вибирається залежно від металу, який зварюється, його товщини й вимог, які ставляться 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 кромки під зварювання (механічні, газовим різанням тощо) такі ж, як і при інших методах зварювання.

Метал для виготовлення зварних конструкцій попередньо виправляють, розмічають, розрізають на окремі деталі, при потребі виконують розробку кромки відповідно до ГОСТу. Підготовка кромки під зварювання включає очищення від іржі, окалини, шлему, масла. Очищення здійснюють сталевими щітками, гідроструминним і дробоструминним способами, абразивними кругами, подум'ям зварювального пальника, протравленням у розчинах кислот або лугів.

Основні типи й конструктивні елементи швів зварних з'єднань із сталей, сплавів на залізонікелевій і нікелевій основах, виконаних дугним 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 100 мм; напугсові при зварюванні металу товщиною від 0,8 до 60 мм. Залежно від форми підготовки кромки і товщини зварних деталей шви бувають із відбортуттям кромки, без скою кромки, із прямим, ломаним, егусеним або криволінійним скоєм однієї або двох кромки з однієї або з двох сторін з'єднання. За характером виконання шва вони можуть бути одно- й двобічними. Однобічні можуть виконуватися «на базі» та на різного роду підкладках — мідно-флюсовій, тимчасовій сталевій і такій, що зашипається.

Стандартом встановлено такі позначення способів зварювання:

II — в інертних газах неплавким електродом без присаджувального металу;

III — в інертних газах неплавким електродом із присаджувальним металом;

III — в інертних газах та їх сумішах із вуглекислим газом і кисневим плавким електродом;

ВП — у вуглекислому газі та його суміші з киснем плавким електродом.

Конструктивні елементи підготовлених кромки і виконаних швів для деяких типів з'єднань наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.2
Конструктивні елементи підготовлених кромки і виконаних швів у середовищі захисних газів

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромки	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Гранична товщина зварних деталей, мм
			підготовлених кромки зварних деталей	шва зварного з'єднання		
Стикове	Без скою кромки, замковий	C6			II IIIп III ВП	0,5-4,0 0,8-6,0 0,8-6,0 0,8-8,0
Стикове	З лямашим скоєм однієї кромки	C14			III ВП	18-100 18-100
Стикове	Із ступінчастим скоєм двох кромки	C22			IIIп III	4-20 4-20
Кутові	З двома симетричними скоями однієї кромки	K8			IIIп III ВП	10-20 10-20 6-100
Таврові	З двома симетричними скоями однієї кромки	T9			IIIп III ВП	6-20 6-80 6-80
Упапуск	Без скою кромки	H2			III IIIп III ВП	0,8-4,0 0,8-10,0 0,8-60,0 0,8-60,0

Позначення: S ; S_1 — товщина металу, мм; b — зазор, мм; c — величина пригуплення, мм; e ; e_1 — ширина шва, мм; g ; g_1 — висота останньої шви, мм; K — катет шва, мм; R — радіус заокруглення, мм; α — кут скою, град; B — величина напугсу, мм; δ — товщина торця кромки, що залишилася, мм.

Вид розробки кромок та їхні геометричні розміри повинні відповідати ГОСТу 14771-69 або технічним умовам щодо виготовлення виробу. При напівавтоматичному зварюванні плавкою електродами можна отримати повний провар без розробки кромок і без зазору між ними при товщині металу до 8 мм. При зазорі або розробці кромок повний провар досягається при товщині металу до 11 мм при зварюванні у вуглекислоту газі багатонаправних швів. Перед накладанням наступного шару поверхню попереднього старанно зачищають від бризк і шлаку. Для зменшення забруднювання поверхні деталі покривають спеціальними препаратами: UFO-1 спреї, «Захист-1». Деталі складають за допомогою струбиці, 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 налагодженні 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 електроду, 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 швидкості подачі електроду U_n і використовують властивості статичних характеристик джерел живлення зварної мережі та характеристик 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, холодне тощо);
- метод зварювання (електродугове під флюсом, електродугове в активних та інертних газах, електрошлакове пластичним електродом тощо);

- ступені механізації зварювального процесу (автоматичний або напівавтоматичний);
- можливості переміщення апарата (самохідні або стаціонарні). Самохідні поділяють на такі, що безпідприємся по спеціальних направляючих (самохідні головки), або безпосередньо по виробу, що зварюється (зварювальні трактори);
- виду зварювального електроду (плавкий і неплавкий);
- способу регулювання електричної дуги;
- кількості і виду електродів (дротяний, стрічковий, з плавким мундштуком, плавкий або неплавкий);
- способу формування металу шва (вільне, примусове).

В одному зварювальному апараті можливі поєднання різних кваліфікаційних ознак однієї й тієї ж групи. Наприклад, напівавтомат для зварювання під флюсом може використовуватися й при зварюванні в захисних 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 значний переваг. До їх недоліків відносять нестійкість 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 захисних газів $Ar+CO_2$. Напівавтомати оснащені подаючим пристроєм із двома роликками.

Напівавтомат ПДГ-2510 укомплектований подаючим пристроєм, який має чотири роликки, що забезпечує безперервну подачу як суцільного так і порошкового 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 напівавтоматів	ПДГ-165-1	ПДГ-2010	ПДГ-2510
Напруга живлення (50Гц), В	220	380	3×380
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

Технічні характеристики напівавтоматів	ПДГ-165-1	ПДГ-2010	ПДГ-2510
Діапазон регулювання напруги на дузі, В	14-24	14-28	15-30
Кількість подвійних роликів, шт.	2	2	4
Діаметр електродного дроту, мм: судильного порошкового	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 паливника	Євророз'єм	Євророз'єм	Євророз'єм
Діаметр вагетти, мм	200	200; 300	200; 300
Витрати захисного газу, л/год	550	550	840
Ступінь захисту	1Р21	1Р21	1Р21
Базові розміри, мм	545×285×545	720×285×700	470×910×940
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, газо-електричного клапана і шланга, який з'єднує ці елементи із зварювальним паливником.

Балон — сталена ємність, призначена для зберігання й транспортування стиснутих, зріджених і розчинених газів під тиском. Витокляють із суцільнотягнутих 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 нентилем балона і редуктором встановлюють електричний підігрівач.

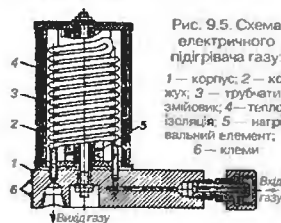


Рис. 9.5. Схема електричного підігрівача газу

1 — корпус; 2 — ко-
жух; 3 — трубчатий
змієвник; 4 — тепло-
ізоляція; 5 — нагрівальний елемент;
6 — клемми

Електричний підігрівач (рис. 9.5) складається з корпусу 1, кожуха 2, трубчатого змієвника 3, теплоізоляції 4 і нагрівального елемента 5. На клемми 6 подають постійну (20 В) або змінну (36 В) напругу. Газ проходить через трубчатий змієвник 3 і нагрівається до температури 10–15°C.

Найвищий навіть невеликої кількості вологи в балоні призводить до різкого збільшення вологості вуглекислого газу при зниженні його тиску. При цьому в металі шва утворюються пори.

Для зниження вологості вуглекислого газу балон після промивання необхідно просушити (продувачи 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).

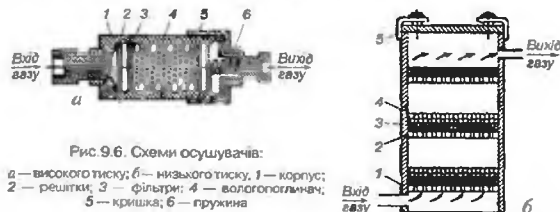


Рис. 9.6. Схеми осушувачів:

а — високого тиску; б — низького тиску; 1 — корпус;
2 — решітка; 3 — фільтри; 4 — вологопоглинач;
5 — кришка; 6 — пружина

Осушувачі складаються з корпусу 1, решіток 2, фільтрів 3, вологопоглиначів 4 і кришки 5. Осушувач високого тиску має пружину 6, призначену для ущільнення вологопоглиначів. Фільтри 3 призначені для відокремлення від газу твердих частин. У якості вбирача вологи використовують силікогель, або алюмогліколь, інколи мідний купорос 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, бо його раціонально застосовувати при централізованому газопостачанні.

Осушувач високого тиску встановлюється до понижуючого редуктора, має малі розміри і вимагає часті заміни вологопоглиначів. Це створює певні незручності при роботі.

Редуктор призначений для зниження тиску газу, який відбирають із балона і підтримання цього тиску сталним, незалежно від зниження тиску газу в балоні.

Редуктори-витратоміри серії АР, А, Г, В використовують для фіксації тиску в балоні, тиску після першого етапу та робочого тиску (за манометром-витратоміром, який вимірює витрати газу у літрах за хвилину.)

Залежність витрат газу від показів шкали манометра низького тиску редуктора ДКН-1-65 наведені нижче:

Попідня шкали, МПа	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,16	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.

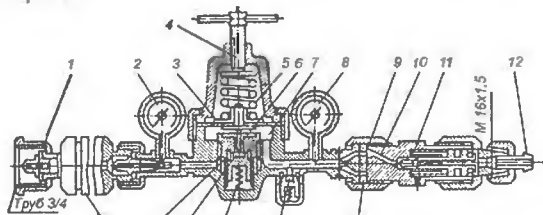


Рис. 9.7. Схема газового редуктора У-30 для вуглекислого газу:

- 1 — накидна гайка; 2, в — манометри; 3 — механізм; 4 — регулювальний вентиль; 5, 15 — пружини; 6 — гайка; 7 — камера низького тиску; 9, 13 — калібровані отвори; 10 — канал; 11, 16 — запірні клапани; 12 — шпиль; 17 — сідло; 18 — підгіривач газу.

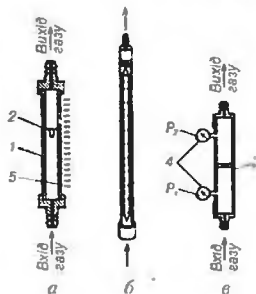


Рис. 9.8. Витратоміри газу:

- а — поплавок типу ротаметр; б — ротаметр РМ-3; в — дросельного типу; 1 — скляна трубка; 2 — поплавок; 3 — діафрагма; 4 — манометри; 5 — шкала.

Витратоміри, або ротаметри призначені для вимірювання й точного контролю витрат газів. Застосовують витратоміри різних типів, найпоширеніші поплавок-ового й дросельного типу.

Витратомір поплавкового типу (рис. 9.8 а, б) складається із скляної трубки 1, нанесеної шкали 5 і конічного отвору. Ротаметр розташовується строго вертикально широким кінцем отвору догори. В середині трубки розташовується поплавок 2, що вільно в ній переміщується. Газ, який проходить знизу догори через трубку, підіймає поплавок доти, поки шильцевий зазор між ним і стінкою трубки не досягне величини, при

якій тиск струменю газу зрівноважує масу поплавка. Чим більші витрати газу та його щільність, тим вище підіймається поплавок.

Поплавки ротаметрів виготовляють із різних матеріалів. Витратомір дросельного типу (рис. 9.8 в) сконструйований 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, шифа керування із електровимірювальною й пускорегулюючою апаратурою, палиник з шлангом для подачі електродного дроту, а також пристрій для захисту 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, рухомі.

Стаціонарні напівавтомати мають різні механізми подачі дроту і пульта керування. Маса дроту і механізм 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 ящику. Напівавтомати цієї групи достатньо транспортноабельні 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 глибоко 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 ньому. Таке розміщення вузлів напівавтоматів затрудняє 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 в 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 сталевий	1,2–2,0 0,8–1,2	80–230 120–720	200 200	У газовому середовищі інертних, активних газів
Суцільний: алюмінієвий сталевий	1,6–2,0 1,0–1,4	80–440 120–960	315 315	Те ж
Порошковий сталевий	1,2–1,6 1,0–3,0	120–960 100–600	400 400	В активних газах без захисту
Суцільний сталевий	1,6–2,0 1,2–2,0	120–720 120–720	500 500	Під флюсом в активних газах
Порошковий сталевий	1,6–2,0 1,2–2,0 2,0–3,0	120–720 120–720 100–600	630 630 630	Те саме в активних газах без захисту

9.7.1. Характеристики зварювальних напівавтоматів

У напівавтоматах використовується зварювальний дріт невеликого діаметра. Зварювання ведеться при великій шільності 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 послідовності роликів (принципова схема) в сучасних механізмах і їх робоча поверхня показані на рис. 9.9.

У механізмах подачі порошкових дротів рекомендується застосовувати варіанти компоновання з двома парами роликів або з більшим кутом обхвату (рис. 9.9) для роликів *КШ*; роликів *КН* і *КШ* використовуються при необхідності створення підвищення зусиль 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: прошковувальний, протягувальний і комбінований (прошковувально-протягувальний).

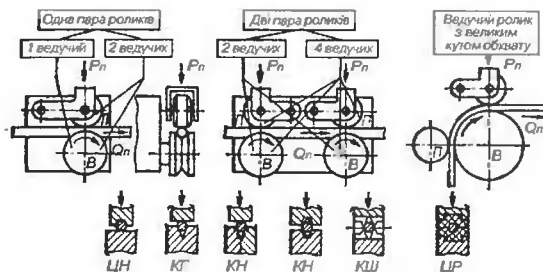


Рис. 9.9. Роликові пристрої подачі дроту:

P_n — зусилля прилиску; B — ролик ведучий та прилисковий; C_n — зусилля подачі механізму; $ЦН$ — ролик циліндричний з насічкою; $КТ$ — рівнинний ролик із канавкою; $КН$ — ролик із насічкою канавкою; $КШ$ — ролик із канавкою (шостерчастий); $ЦР$ — ролик циліндричний (покриваний гумою)

У першому варіанті роликів прошковують зварювальний електрод у зону дуги, 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 прошковує дріт, а інші роликів знаходяться в районі струмопідводу і тягнуть електрод.

У зону зварювання електрод подається через мундштук. У сучасних апаратах застосовуються мундштуки роликів, колодкові, цюбкові й трубчаті (рис. 9.10).

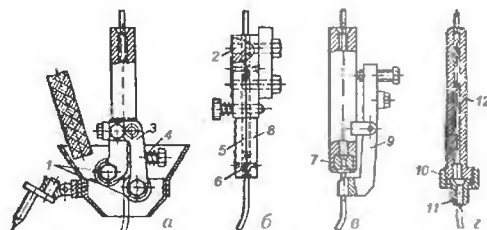


Рис. 9.10. Струмопідвідні мундштуки:

a — роликовий; b — колодковий; v — цюбковий; r — трубчатий; 1 — контакт роликовий; 2 — штир; 3 — корпус; 4 — трубочка; 5, 6 — контакти колодкові; 6, 7 — вставки; 9 — змінна напірачка; 10 — накидна гайка; 11 — микросварка; 12 — труба

У роликівих мундштуках струм підводиться через струмоведучий корпус і роликони контакти; в колодкових мундштуках – через нерухому колодку, а рухома може пересуватися по стійку.

Принцип дії двох останніх конструкцій досить простий і зрозумілий. Трубочаті 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 роликіві мундштуки, вони надійні й достатньо довговічні при струмах 800–1300 А. Проте їх не можна використовувати при вузких розробках. Колодкові мундштуки довговічніші. Їх застосовують в апаратах для струму 1300 А та вище. Чобіткові використовуються при струмах менших 800 А та вище. Чобіткові використовуються при струмах менших 800 А та вище. Чобіткова частина чобіткових мундштуків компактна, тому вони дуже зручні для роботи в важкодоступних місцях.

9.7.2. Пучки напрямні рукава для зварного дроту, пальники

Конструкція напрямних рукавів, які використовуються в напівавтоматах, нескладна (рис. 9.11). Основою такого рукава є трубка, виготовлена з металу із малим коефіцієнтом тертя або з полімерних 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 оболонці розміщені струмоведучі жили й проводи керування, чого немає в рукавах типу КН. Для зменшення тертя в рукава, трубки яких виконані із звичайної сталі, вводиться нейтральний змащувальний матеріал (наприклад, дисульфід молібдену), який значно полегшує проштовхування дроту.

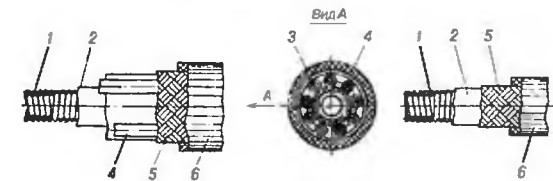


Рис. 9.11. Пучки напрямні рукава:

а – тип КШПЕ; б – тип КН; 1 – дріт; 2 – трубка; 3 – захисний шар; 3 – струмоведучі жили; 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).

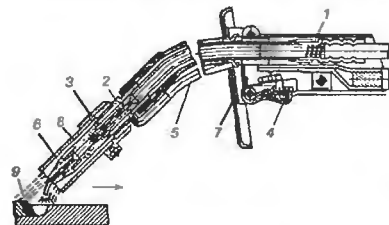


Рис. 9.12. Схема пальника шлангового напівавтомата А-1197П.

1 – рукоятка; 2 – передній шланг; 3 – отвір для виходу газу в сопло; 4 – гашетка пускової кнопки; 5 – мундштук; 6 – наконечник; 7 – захисний щиток; 8 – сопло; 9 – зв'язка атмосфера

Пальник має зігнутий мундштук 5 із перехідною втулкою 2 і наконечником 6, рукоятку 1 із гашеткою 4 пускової кнопки, захисний щиток 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 включення механізму подачі знаходиться на пальнику.

У напівавтоматах, які мають шланги довжиною понад 5 м, для ликвидції нерівномірності подачі дроту застосовують механізм подачі протягувально-прошовувального типу, в яких проштовхувальний механізм розташований поруч із катушкою, а протягувальний – у пальнику.

Схеми шлангових напівавтоматів проштовхувального і протягувального типу зображені на рис. 9.13 і 9.14.

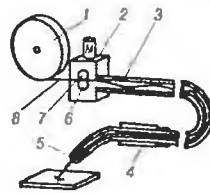


Рис. 9.13. Схема шлангового напівавтомата проштовхувального типу:

1 – катушка; 2 – механізм подачі; 3 – пучковий шланг; 4 – тримач; 5 – наконечник; 6 – пристисковий ролик; 7 – ведучий ролик; 8 – дріт

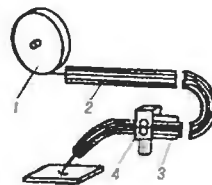


Рис. 9.14. Схема шлангового напівавтомата протягувального типу:

1 – катушка; 2 – шланг; 3 – триггер пальника; 4 – ролик подачі; М – електричний двигун механізму перетягування

Технічна характеристика напівавтоматів

Характеристика	ПДГО - 508	ПДГО - 510
Напруга мережі живлення, В	3×380	3×380
Частота мережі живлення, Гц	50	50
Номинальний зварювальний струм (при ПВ = 60%), А	630	500
Границі регулювання зварювального струму, А	60-630	60-500
Напруга холостого ходу, В	92	85
Номинальна робоча напруга, В	56	50
Потужність, яка споживається, кВт	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	550×210×400	640×215×410

Сімферопольська електромашинобудівельна фірма «СЕЛМА» освоїла виготовлення напівавтоматів ПДГО-508 і ПДГО-510, призначених для механізованого зварювання низьковуглецевих, легированих і корозійостійких сталей зварювальним дротом при постійному струмі. Можливе застосування суцільного й порошкового дротів. Зварювання можна виконувати в середовищі захисних газів й відкритою дугою при роботі з самозахисним порошковим дротом типу ПП-АІ.

Напівавтомати універсальні, пересувні. Існують декілька варіантів конструктивного виконання зварювання із живленням від випрямляча типу ВДУ-506 або від автоматичного блоку керування типу БУСП-04; на колесах або без них. Напівавтомати можуть працювати в комплекті з будь-яким випрямлячем на номінальний струм до 500 А (наприклад, ВДУ-506 з УЗ 1, ВДУ-601 з УЗ 1). Механізм подачі напівзакритого типу зручний в експлуатації. В середині нього встановлено редукторний привід уторського виробництва і газовий тракт. Пульс керування зварювальним режимом встановлено на лицевій панелі. Зовні на окремому кронштейні розташовані касети й тормозний пристрій, який відповідає європейському стандарту. Крім того, механізм подачі можна використовувати й при роботі безпосередньо з повною бухтою електродного дроту, вкладає на розмотуючий пристрій. Для стикувального вузла з паличком передбачено два виконання: з сироворзнімачем або в'їчним з'єднанням, що дозволяє безпечно працювати з будь-яким типом сучасних пальників.

Блок керування забезпечує повне регулювання швидкості подачі зварювального дроту, керування газовим клапаном і газовим джерелом від кнопки на паличку, зміну параметрів зварювального режиму в процесі роботи, встановлення тимчасових інтервалів зварювального циклу, дистанційне вимкнення джерела живлення зварювального струму, можливість роботи в режимах «довгі шви» та «короткі шви».

Напівавтомати комплектуються паличками фірми «Бенциль» (табл. 9.5). Порівняно з аналогічними напівавтоматами, які випускає вітчизняна промисловість, ці мають такі переваги:

- можливість забезпечення підвищеного тягового зусилля й роботи паличками з шлангами довжиною до 5 м за рахунок подаючого пристрою з двома парами ведучих роликів;
- можливість застосування касети за європейським стандартом, при цьому маса електродної дроту може досягати 15 кг;
- повна автономія живлення і можливість роботи з будь-яким типом зварювальних випрямлячів;
- можливість використання практично всіх типів стандартних паличників з сироворзнімачами або в'їчним з'єднанням;
- покращений дизайн та ергономіку.

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 електрода. Для якіснішого заповнення розробки кромок інколи електроду надають коливаючі рухи уперек осі шва із заданою амплітудою і частотою коливань.

Палички для автоматичного зварювання в середовищі захисних газів із змінним вольфрамом електрода. Автоматичне зварювання несплавним електродом широко застосовують при виготовленні виробів відповідального призначення із сплавів алюмінію, нержавіючих сталей та інших металів і сплавів.

Відомо, що в процесі зварювання вольфрамовий електрод випаровується, що призводить до збільшення довжини дуги та ширини зварютого шва. При цьому зменшується глибина проплавлення і як наслідок — якість зварних з'єднань. Тому при експлуатації існуючих зварювальних паличників передбачається періодична заміна

процесу зварювання, охолодження паливника і висування електроду над потрібну величину. Отже, при такому процесі мають місце непродуктивні витрати робочого часу і, залежачи від регулювання довжини дуги, зниження якості зварного шва в місцях зупинки процесу.

Система автоматичного регулювання вильоту електроду дорожча, складніша й трудомістка у виготовленні та експлуатації.

Паливники ПН-3, ПН-6 і ПН-12, виготовлені й випробувані в ВАГ «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.

Паливник ПН-6 для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 6–8 мм складається з керамічного сопла 1, корпусу 2, цанги 3, втулки цанги 4, рукоятки переміщення електроду 5, втулки кріплення паливника 6 і струмоідводу 7 (рис. 9.15 а).

ПН-12 – це паливник великої потужності для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 10–12 мм (рис. 9.15 б).

У нових паливниках постійна величина вильоту електроду періодично підтримується обертанням рукоятки 6, для чого опускають нижню фіксуючу гайку. При цьому процес зварювання не переривається.

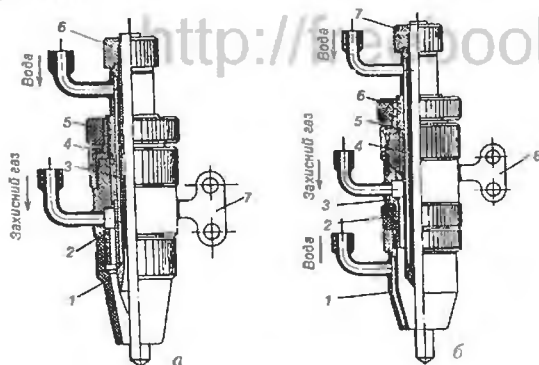


Рис. 9.15. Загальний вигляд паливників:

а — ПН-6 із керамічним соплом. 1 — керамічне сопло; 2 — корпус; 3 — цанга; 4 — втулка цанги; 5 — рукоятка переміщення електроду; 6 — втулка кріплення паливника; 7 — струмоідвід.
б — ПН-12 з водоохолоджувальним соплом. 1 — водоохолоджуєче сопло; 2 — перебірка фторопластова втулка; 3 — корпус; 4 — цанга; 5 — втулка цанги; 6 — рукоятка переміщення електроду; 7 — втулка кріплення паливника; 8 — струмоідвід.

Універсальний зварювальний автомат ТС-42 призначений для автоматичного одно- та багатопроводового зварювання виробів у середовищі захисних газів суцільним і порожковим дротом на постійному струмі. Зварювання може проводитися з копірами і без них, прямолінійних стикових й кутових швів, швів «у човник» і похилим електродом, стикових швів з розробкою і без розробки кромки. Зварювальний автомат складається з самохідного трактора (рис. 9.16) і джерела живлення зварної дуги постійного струму — перетворювача ПСТ-500-1 або випрямляча ВС-600.

Трактор переносного типу рухається по виробі або напрямній лінійці. Він має один двигун постійного струму. Швидкість зварювання та подача електродного дроту регулюються змінними шестернями. Електрична схема трактора дає змогу з пульта керування швидко змінювати частоту обертання вала електродвигуна, тобто плавно регулювати швидкість зварювання та подачі дроту, що розширює технологічні можливості апарата.

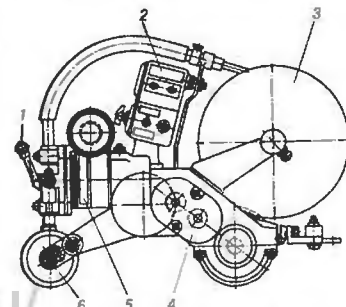


Рис. 9.16. Універсальний зварювальний трактор ТС-42:

1 — вузлик підтягання електроду; 2 — пульт керування; 3 — касета з електродним дротом; 4 — корпус; 5 — подавальний механізм; 6 — напрямне колесо

Автомат АДГ-502 (рис. 9.17) призначений для зварювання постійним струмом у середовищі вуглекислого газу з'єднань устик із розробкою та без розробки кромки, для зварювання кутових швів вертикальним і похилим електродом, а також стиков унапусток. Автомат складається з двох вузликів зварювального трактора і випрямляча ВДУ-504-1. Відрізняється від базового типу АДФ конструкцією струмоідводів, наявністю вольного охолодження і захисного газу, відсутністю бункера для флюсу. Струмоідвід у зоні зварювання захищений водоохолоджуючим соплом, в яке через ніпель надходить вуглекислий газ.

Схема керування виконана на напівпровідникових елементах. Вона дозволяє встановлювати необхідні витримки часу для продування захисного газу, розтягування дуги для заварювання кратера і обдування шва газом після закінчення процесу зварювання.

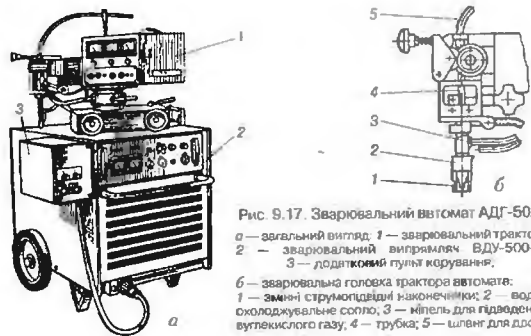


Рис. 9.17. Зварювальний інверт АДГ-502:
 а — загальний вигляд: 1 — зварювальний трансформатор;
 2 — зварювальний випрямляч ВДУ-500-1;
 3 — додатковий паливний бак;
 б — зварювальна головка трактора-автомата:
 1 — змінні струмоподільні наконечники; 2 — від-
 складувальне сопло; 3 — шпиль для підведення
 вуглекислого газу; 4 — трубка; 5 — шпindel для долота

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, напруга дуги, швидкість подачі електродного дроту, швидкість зварювання, виліт електрода, витрати вуглекислого газу, нахил електрода вздовж осі шва, рід 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 наплавки, 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 кромок з кутом 60° і притупленням 2–4 мм. Метал більшої товщини зварюють при вузькому щільному розчищенні кромок 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 зворотній полярності. При прямій полярності швидкість розплавлення в 1,4–1,6 рази вища, ніж при зворотній, проте дуга горить менш стабільно з інтенсивним розбрикуванням. Крім того, одержують не якісний, несадовільно сформований шов.

Швидкість подачі електродного дроту. Швидкість подачі дроту залежить від сили зварювального струму. Її встановлюють з таким розрахунком, щоб при зварюванні не виникло коротке замикання та обрив дуги, а процес плавлення електрода протікав стабільно.

Швидкість зварювання. Із збільшенням швидкості зварювання зменшуються всі геометричні розміри шва. Її встановлюють залежно від товщини металу та умов нормального формування шва. При зварюванні металу великої товщини розробку кромок краще заповнювати вужчими валиками на великій швидкості. При дуже великій швидкості зварювання кінець електрода може виліти із зони захисту і окиснитися на повітрі. Мала швидкість зварювання спричинює збільшення зварної ванни і підвищує можливість утворення пор у металі.

Швидкість зварювання становить 15–80 м/год. При автоматичному зварюванні якості з'єднання можна одержати при товщині металу понад 0,5 мм; при механізованому — понад 1 мм. В основному зварюють метал товщиною понад 3 мм.

Виліт електрода. Із збільшенням вильоту електрода погіршується стійкість горіння дуги і формування шва, а також збільшується розбрикування рідкого металу. При зварюванні з дуже малим вильотом погіршується спостереження за процесом зварювання і часто підгорають газове сопло й струмоподільний контактний наконечник. Крім вильоту електрода необхідно витримувати визначену віддачу від сопла пальника до поверхні металу, оскільки із збільшенням цієї віддачі погіршується газовий захист зони зварювання і можливе пошкодження кисню та азоту повітря в розплавленій металі, що призводить до появи газових пор. Величину вильоту електрода, а також віддачу від сопла пальника до поверхні металу встановлюють залежно від вибраного діаметра електродного дроту (табл. 9.6).

Таблиця 9.6

Граничні значення вильоту електрода, віддачі від сопла пальника до поверхні металу і витрат газу залежно від діаметра електродного дроту

Діаметр електродного дроту, мм	Виліт електрода, мм	Віддача від сопла пальника до поверхні зварювального металу, мм	Витрати вуглекислого газу, дм ³ /хв
0,5–0,8	7–10	7–10	5–8
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 наявність руху повітря, тобто протягів у щеле, вітру тощо. У таких випадках для покращення газового захисту необхідно збільшувати витрати вуглекислого газу, зменшувати швидкість зварювання, наближати соплو до поверхні металу або використовувати захисні щити. Але збільшені витрати вуглекислого газу можуть призвести до значного вигорання кремнію та марганцю.

Нахил електрода вздовж шва впливає на глибину провару та якість шва. При зварюванні кутом уперед майже неможливо спостерігати за формуванням шва, але краще видно зварні кромки і легше направляти електрод точно в зазор між ними. Ширина шва при цьому зростає, глибина провару зменшується. Зварювання кутом уперед рекомендується застосовувати при невеликих товщинах металу, коли існує небезпека наскрізних провалів. При зварюванні кутом назад покращується видимість зони зварювання, підвищується глибина провару і нахилений метал є більш щільним.

У довідковій літературі орієнтовні режими приводяться у вигляді таблиць, в яку включено лише основні параметри режиму. В табл. 9.7 рекомендуються режими для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей у вуглекислому газі постійним струмом зворотної полярності для дроту типу Св 08 Г2С.

Таблиця 9.7

Орієнтовні режими напівавтоматичного зварювання сталевих листів устик без розробки кромки у вуглекислому газі

Товщина металу, мм	Ширина зазору, мм	Кількість шарів	Діаметр дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напруга дуги, В	Швидкість зварювання, м/год	Витрати газу, л/хв
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	180-200	26-28	20-25	14-16
6,0-8,0	1,8-2,2	1-2	2,0	260-380	28-35	18-24	16-18
8,0-12	1,8-2,2	2-3	2,5	260-450	27-35	16-30	18-20

У практиці застосовують також зварювання на підвищених (форсованих) режимах: збільшений сил струму, напруга дуги та швидкість зварювання, що дозволяє збільшити продуктивність на 25-75%. У масовому виробництві (наприклад, при виробництві шкідливих коліс автомобілів) застосовують швидкісне автоматичне зварювання у вуглекислому газі дротом діаметром 3-5 мм. В обмеженому обсязі використовують зварювання у вуглекислому газі несплавленим вугільним електродом бортових з'єднань із низьковуглецевих сталей завтовшки 0,3-2 мм (наприклад, каністр, корпусів конденсаторів

тощо). Зварювання виконують без присадки постійним струмом. Спосіб продуктивний, проте міцність з'єднання становить 50-70% міцності основного металу. Характерний режим зварювання мсталу товщиною 2 мм — це струм 120-130 А, швидкість зварювання 50-55 м/год, довжина дуги 2-3 мм, виліт електрода 40-45 мм, діаметр електрода 6 мм.

У довідковій літературі орієнтовані режими приводяться у вигляді таблиць, в які включаються лише основні параметри режиму.

9.9. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ТЕХНІКИ ЗВАРЮВАННЯ

Ручне й напівавтоматичне зварювання виконують «на базі». 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 такими ж, як і ті, 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.

Вплив швидкості зварювання на надійність захисту зони зварювання показано на рис. 9.19.

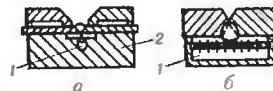


Рис. 9.18. Схеми газових подушок: а, б — одно- і двобічне зварювання; 1 — захисний газ; 2 — відли підкладка

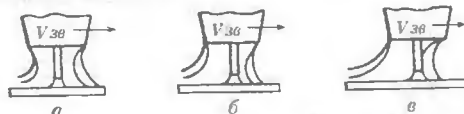


Рис. 9.19. Зварювання на малих (а), середніх (б) і великих (в) швидкостях

Вітер і протія знижують ефективність газового захисту. Тому витрати захисного газу необхідно підвищувати на 20-30%, а також збільшувати діаметр отвору сопла, наближати напильник до поверхні деталі. При зварюванні на підвищених швидкостях на чільник слід нахилити кутом уперед, а при автоматичному зварюванні застосовувати бокову подачу 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 (мінує на вольфрамовому електроді) добре залягається і стійко горить, напруга дуги дорівнює 10–15 В і тільки при великих струмах підвищується до 25–30 В; електрод майже не нагрівається, допустимі високі щільності струму, витрати вольфраму незначні. При зворотної полярності (плюс на вольфрамовому електроді) збільшуються напруга дуги, зменшуються її стійкість, підвищується нагрівання електрода, зменшуються витрати електрода, зменшується глибина проплавлення основного металу.

Дуга при зворотної полярності виконує функцію очищення, тому що електрод бомбардується електронами, а поверхня металу — важкими іонами аргону, які подібно до іскострумного процесу розбивають плівку оксидів і здувають її з поверхні.

Негативні для зворотної полярності як стійкості горіння дуги і сильної нагрів вольфрамового електрода дають можливість застосування змінного струму при зварюванні алюмінієвих і магнієвих сплавів.

При зварюванні електродом 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

Зварювання металів при аргондуговому зварюванні вольфрамовим електродом

Метали, що зварюються	Змінний струм	Постійний струм, полярність	
		пряма	зворотна
Низьковуглецева, низько- і середьлегована 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

Техніка напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі майже аналогічна техніці зварювання під флюсом.

Перед початком зварювання необхідно вклучити газ і перевернути його витрати, зачекати декілька секунд, щоб повністю вишлюло повітря з шлангів, і облудити 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 мушкетку над кратером, щоб захистити метал аварійної ванни від окиснення, а потім відводять тримач від місця зварювання. Закінчувати процес зварювання розташуванням дуги не рекомендується. Перед закінченням процесу зварювання рекомендується заповнити кратер шва металом. Заповнення (закорювання) кратера металом особливо необхідно при зварюванні дротом діаметром понад 1,2 мм, оскільки в незаповненому кратері в лавному випадку після твердіння металу утворюються надризи (гарчі тріщини). Більшість з них можна ліквідувати проплавленням при виконанні наступного шару шва, причому в кратері наступних шарів тріщини не утворюються. Тріщини глибиною понад 3 мм при накладанні наступного шару часто не вдається ліквідувати, і вони залишаються в шві у вигляді поодиноких надриків. 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 заповнюється. Крайні результати одержують, якщо перед обривом дуги зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту зменшують поступово.

В Інституті електрозварювання ім. С. О. Патона розроблено напівавтомат для зварювання металу у вуглекислому газі, який забезпечує заварювання кратера в кінці шва, що ліквідує утворення в ньому тріщин. Наприкінці зварювання напівавтомат спеціальною кнопкою переключається на заварювання кратера.

При використанні звичайних напівавтоматів закінчувати процес зварювання необхідно на вивідній шланзі (особливо при зварюванні відповідальних виробів).

Стикові з'єднання в нижньому положенні зварюють напівавтоматом при нахилі електрода від 5 до 20° кутом уперед або (рідше) кутом назад. Тарові з'єднання, розташовані не «в човник», зварюють з таким же нахилом електрода в напрямі зварювання і з нахилом його уперед шва від кута 40–50° до горизонту. При цьому електрод направляють або точно в кут, або зміщують на 1–1,5 мм на горизонтальну площину.

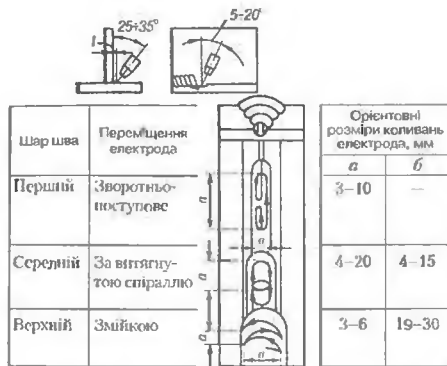


Рис. 9.20. Положення наконечника нагівівача і прийоми переміщення електрода при зварюванні у вуглекислому газі в нижньому положенні

Тонкий метал у нижньому положенні зварюють при рівномірному поступовому переміщенні електрода (без поперечних коливань) за виключенням ділянок, які мають зазори. 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 багатозчорового 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 (шперед, потім назад і знову вперед).

З'єднання внапуск 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 дотом діаметром 0,5–1,2 мм. Досвідчені зварники зварюють вертикальні й горизонтальні шви великих перерізів дотом 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 кутові шви з катетом до 5–6 мм виконують зверху вниз.

На початку процесу зварювання електрод розташовують перпендикулярно до зварних кромок, щоб забезпечити необхідний провар початку шва. Після утворення зварної ванни електрод нахилиють нижче горизонталі на кут 10–15°. При цьому тиск дуги сприяє утриманню рідкого металу зварної ванни від стикання.

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 стикання. У стельовому положенні шви зварюють на пониженому зварувальному струмі і напрузі дуги при незначному збільшенні витрат вуглекислого газу. Для кращого утримання рідкого металу від стикання електрод установлюють з невеликим кутом нахилу назад. Якщо необхідно одержати широкий валок шва, електродом здійснюють поперечні коливання. При масовому виробництві однотипні вироби з кільцевими стиками можна зварювати автоматом (приміром автомат повинен бути нерухомим, а виріб обертається із заданою швидкістю). Кромки повинні бути томеними, розробка з V-подібною без притуплення. Зазор у стикі не повинен перевищувати 0,8 мм, а несів'ядання кромки повинне 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).

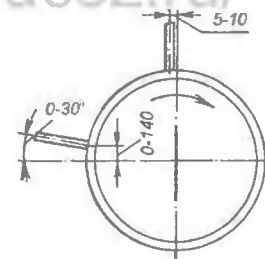


Рис. 9.21. Схема розташування електрода при автоматичному зварюванні у вуглекислому газі поворотних кільцевих стиків:

збкю — електрод діаметром 1 мм (зварювання кореня з'єднання); зверку — електрод діаметром 2 мм (виконання наступних шарів шва). Стрілкою вказано напрямки обертання зварного виробу

Другий та наступні шари виконують дотом діаметром 2 мм, розташованим вертикально на вершні стиків.

9.11. ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ВУГІЛЬНИМ І ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Процес зварювання вугільними електродами характеризується такими особливостями:

- температури плавлення і кишіни вугільних електродів досить високі й настільки близькі ($T_{пл} = 3800^\circ\text{C}$, $T_{киш} = 4200^\circ\text{C}$), що практично процес плавлення не вдається спостерігати, видно тільки повільне випаровування;

- зварювання вугільними електродами можна вести тільки на прямій полярності (мінус на електроді). При зворотній полярності спостерігається недостатньо стійке горіння дуги, незадовільне формування шва, проходить навуглювання наплавленого металу, електрод сильно розігрівається на великій довжині, що призводить до його випаровування;

- коефіцієнт корисної дії дуги при зварюванні вугільним електродом значно нижчий, ніж при зварюванні металевим плавким електродом;

- дуга в процесі зварювання чуттєва до різних зовнішніх впливів, потоків газів, вітру і т. д., а також сильно піддається магнітному дуттю.

Вугільні електроди успішно використовують для зварювання тонких металевих листів, заварювання дефектів лиття, зварювання кольорових металів і наплавлення твердих сплавів.

На сьогодні використовують наступні способи зварювання вугільним електродом тонколистового металу, без присаджувального матеріалу; з подачою присаджувального матеріалу в дугу; з попереднім укладанням присаджувального матеріалу.

Зварювання без присаджувального матеріалу є найпростішим способом, який широко застосовують. При цьому способі дуга оплавляє кромки зварних деталей. Його застосовують для зварювання листів при з'єднанні їх відбуртуванням, кутових з'єднань і внапуск.

Слід зауважити, що продуктивність зварювання при товщині листів 1–3 мм може бути значно вищою продуктивності ручного дугового зварювання покритими металевими електродами. Без присаджувального матеріалу успішно зварюють кутники, швелери 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, показано на рис. 9.22.

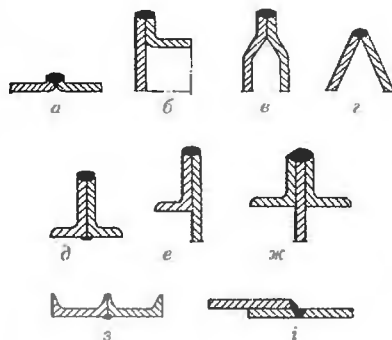


Рис. 9.22. Приклади застосування зварювання без присаджувального матеріалу:

a — стикове з'єднання листової товщиною 1–2 мм з відбуртуванням кромок; *b* — присадка штампованого днища до обичайної; *c* — з'єднання кутників самотей; *d, e, ж, з* — різні види з'єднань і кутники швелерів і листів; *i* — з'єднання внапуск.

Зварювання тонких листів із подачою 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. Факел дуги направляють на кінець присаджувального матеріалу, запобігаючи провалу при зварюванні тонких листів. Цей спосіб ефективний при зварюванні кольорових металів і виправленні дефектів лиття.

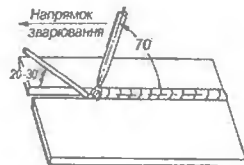


Рис. 9.23. Зварювання тонких листів з подачою присаджувального металу в дугу

Зварювання з подачою присаджувального матеріалу в дугу можна виконувати «лівою» і «правим» способами. При «лівому» способі (рис. 9.24 *a*) присаджувальний пруток розташовується між електродом та основним металом; полум'я дуги направлено на основний метал. При «правому» способі (рис. 9.24 *б*) присаджувальний пруток розташовується між наплавленим шаром і вугільним електродом, а полум'я дуги направлено на розплавлений метал.

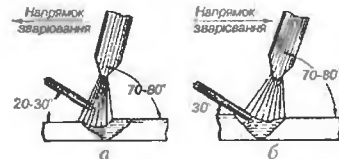


Рис. 9.24. Схема «лівого» (*a*) і «правого» (*б*) способів зварювання з подачою присаджувального матеріалу

Режим 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	33

При «правому» способі нагрівання концентруваніше, чим при «лівому», що дозволяє зварювати на великих швидкостях. Але при «правому» способі можливі провали. На практиці частіше застосовують «лівий» спосіб, а «правий» — при зварюванні товстих металевих деталей.

Зварювання з поперсним 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 присаджувального 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 розгрівався по всій довжині до світло-чорного кипіння, при якому він швидко випаровується та розтікається.

Приблизний режим зварювання з'єднань низьковуглецевої сталі вугільним електродом наведено в табл. 9.9.

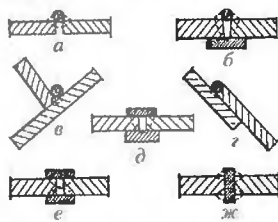


Рис. 9.25. Зварні з'єднання з укладанням присаджувального матеріалу.

а, б, д, е, ж — стикові шви; з — кутові шви

Таблиця 9.9

Режим зварювання вугільними електродами

Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Сила струму, А	Діаметр електрода, мм	Швидкість зварювання, м/год
Однібічний стиковий шов	2	200	10	20
	3	300	12	20
Однібічний кутовий шов	2	150	10	20
	3	250	10	15
З підбортванням кромки	1	130	10	30
	2	200	10	40

Збільшення щільності струму можна допускати при використанні графітових електродів, що тонші й зручніші в роботі. Орієнтовні режими зварних з'єднань із підбортванням 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 зварних з'єднань практично знаходяться на рівні властивостей основного металу.

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

Режим зварювання вугільними електродами при використанні дуги дотичної дії

Вид зварювання і матеріали	Товщина зварного елемента, 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 припоями, наплавлення твердих сплавів	—	60-150

9.12. ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В СУМІШІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ НА ОСНОВІ АРГОНУ

При механізованому зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей в якості захисного газу широко використовується вуглекислий газ. Але процес зварювання в цьому газі поряд 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 розбризування;
- наявність бризок на поверхні зварних виробів;
- низька якість поверхні шва (нерівності й груба лускатість);
- не завжди відповідні показники механічних властивостей металу шва, особливо ударної міцкості при мінусових температурах.

Механічні властивості металу шва і наплавленого металу при зварюванні дротом Св-08Г2С у суміші Ar + 20% CO₂

Основний метал	Зварний струм, А	Напряг на дугі, В	Температура греючої точки, МПа	Тисисловий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість (Шарп) Дж/см ² при температурі °С			
							+20	-20	-40	-60
<i>Метал шва</i>										
Ст3сп (S=20 мм)	280-290	26-28	423	552	25,5	67,0	96	70	41	—
Ст10ХСНД (S=20 мм)	290-300	28-29	559	699	21,7	53,1	145	76	56	37
Ст08Г2 (S=25 мм)	300-320	29-30	490	595	29,3	70,3	156	135	93	65
Ст08Г2С (S=16 мм)	260-270	26-27	477	596	22,0	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 електричного і газу становили 16-18 л/хв, виліт електроди - 18-20 мм. Наведені середні значення за результатами випробувань, 3-5 зразків.

Досягті високі також показники стійкості металу швів, зварених в аргонних сумішах, проти утворення кристалізаційних тріщин. Використання аргонних сумішей дозволяє досягти в високих значеннях холодостійкості і стійкості проти утворення тріщин металу шва.

Зварювання в сумішах Ar + CO₂ + Ar + CO₂ + O₂ можна виконувати у всіх просторових положеннях і зварювальним обладнанням, апаратурою й джерелами живлення для зварювання у вуглекислому газі. При цьому напруга дуги повинна бути на 2-3 В нижче 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 значеннях зварювального струму, які забезпечують струмінне перенесення електродного металу. В табл. 9.13 наведені значення критичного зварювального струму, при якому розпочинається струмінне перенесення, для різних діаметрів зварювального дроту, полярності струму з використаним імпульсно-дуговым процесом зварювання (1,13) у суміші Ar + 20% CO₂. Суміші на основі

Співовий досвід показує, що одним із ефективних шляхів удосконалення механізованого зварювання стає плавкими електродом в окиснювальних захисних газах з використання сумішей захисних газів замість вуглекислого. З точки зору подолання високих зварювально-технологічних характеристик та економічних показників найперспективнішими є суміші аргону з окиснювальними газами (вуглекислий газ): Ar + 20-25% CO₂ + Ar + 20-30% CO₂ + 3-7% O₂. Такі суміші забезпечують оптимальне подолання зварювально-технологічних характеристик, вартості виконання зварювальних робіт і якості зварних конструкцій.

Необхідно відзначити, що потрібна суміш Ar + CO₂ + O₂ має високий окиснювальний потенціал порівняно з сумішшю Ar + CO₂ і забезпечує підвищену стійкість швів проти утворення пор від азоту. Тому її застосовують при зварюванні стиків із збільшеним зазором, металу із слідами окислення, товстого металу на підвищених режимах дротами великого діаметра, а також у тих випадках, коли захист зони зварювання ускладнюється (наприклад, зварювання в монтажних умовах при швидкості вітру не менше 1,3 м/с).

Порівняно із зварюванням у вуглекислому газі, зварювання в аргонних сумішах оптимального складу забезпечує:

- зменшення витрат електродного металу на розбризування в 3-4 рази;
- зниження трудоемкості при зачистці 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, подовженому вильоті електроду, 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 + Ar + CO₂ + O₂ можна використовувати стандартні зварювальні дроти 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 нижча, чим при зварюванні у вуглекислому газі, валок шва має плавний перехід до основного металу, формується дрібнолуската поверхня шва, за зовнішнім виглядом аналогічна поверхні швів, зварених під флюсом.

Сприятлива форма шва, невисока випуклість і зменшена кількість витрат електродного металу розбиранням забезпечують помітне 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 проходить дрібнокрапельне перенесення металу з частотою відриву крапель, яка відповідає частоті накладання імпульсів струму.

Дрібнокрапельне перенесення проходить при нижчому середньому значенні зварювального струму порівняно з умовами струмінного перенесення електродного металу під час зварювання без накладання 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 промислових розвинутих країнах, які мають принципово нові імпульсні джерела живлення дуги, за допомогою яких можна створювати імпульси струму довільної форми та амплітуди з плавним регулюванням частоти й довжини імпульсів.

Таблиця 9.13

Значення критичного струму переходу до струмінного перенесення електродного металу при зварюванні в суміші $Ar + 20\% CO_2$ дротом $Cv-08Г2С$

Діаметр дроту, мм	Критичний струм зварювання		
	зворотна полярність	пряма полярність	ІДЗ
1,0	240	—	160
1,2	260	350	180
1,4	300	380	210
1,6	340	420	240
2,0	400	460	—

Розроблене в ІЗЗ ім. Є. О. Патона джерело імпульсного струму І-169 для технічними характеристиками не поступається західним зразкам, 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 зону дихання зварників і повітря приміщення містяться менше пилу й токсичних газів. Завдяки зниженню рівня шкідливих викидів при зварюванні крім соціального ефекту (зменшення захворювання робітників) з'являється можливість зниження інтенсивності загальнообмінної 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;
- багатопрохідних швів товстостінового 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 атестувати продукцію за нормами міжнародних сертифікаційних установ.

Склад сумішей (подвійна чи потрійна) вибирають залежно від того, який газ (аргон чи суміш $Ar + O_2$) виробляють на заводі. Це стало можливим завдяки тому, що на металургійних і хімічних підприємствах України були введені в дію потужні повітродозидильні установки. На цих установках одночасно киснем і азотом виробляють велику кількість побічного продукту — газу аргону або аргонно-кисневу суміш у газоподібному й зрідженому вигляді. 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 розкислити новий метал зварної ванни, за допомогою шлаку знизити вміст у шві газів пор. Шов буде мати високу пластичність при плюсових і мінусових температурах.

Порошковим дротом можна зварювати шви стикових, кутових, тапових напульткових з'єднань з розробкою та без розробки кромок. Поверхні, які зварюються, повинні бути зачищені від бруду, масла, іржі.

Приймавки виконують якісними 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.

Виліт електрода знаходиться в прямій залежності від діаметра дроту. При збільшенні діаметра дроту від 1,4 до 3 мм збільшується виліт електрода від 7–10 мм до 20–25 мм. Виліти режимів зварювання на геометричні розміри й форми шва такі ж як і у вуглекислому газі.

Орієнтовні режими зварювання низьковуглецевої сталі порошковим дротом ПП-АН відкритою дугою шланговим напівавтоматом А-765 наведені в табл. 9.14.

Таблиця 9.14

Орієнтовні режими зварювання низьковуглецевих сталей відкритою дугою порошковим дротом ПП-АН

Положення шва в просторі	Діаметр порошкового дроту, мм	Напруга дуги, В	Сила зварювального струму, А	Швидкість зварювання, м/год	Виліт електрода, мм	
Нижче	2,5	22–25	250–270	12–14	10–20	
	3,0	23–25	300–330	12–16	15–20	
Горизонтально	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	
Вертикально:						
	зверху вниз	1,6	19–21	180–200	—	10–15
	знизу вгору	1,6	20–21	160–180	—	10–15
знизу вгору	2,0	20–22	140–170	—	10–15	

Техніка напівавтоматичного зварювання порошковим дротом аналогічна техніці напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі. Вона мало відрізняється від техніки ручного дугового зварювання, але вимагає певних навичок 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, в 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 мундшук сильно зафіксується, до нього приварюється дріт, а у шві утворюються дефекти.

При збільшенні вильоту електрода осердя дроту перегрівається, що призводить до передчасного вигорання газоподібних складових і до утворення пористості шва. Необхідно слідкувати, щоб шлак не затікав наперед дроту, тобто дріт повинен переміщуватися по краю зварної ванни.

Кольвативні рухи електрода залежать від товщини металу й ведуться за витягнутою спіраллю або «змійкою». Допускається нахил уперед або назад до 15–20°. При зварюванні кутових швів електрод нахилиють на кут 30–40° до вертикалі.

9.14. ЗВАРЮВАННЯ САМОЗАХИСНИМ ДРОТОМ

Зварювання дротом суцільного 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 напичення 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 неспортивних стиків труб підприємства змушені були закупити самозахисний порошковий дріт за кордоном за порівняно високими цінами, оскільки вітчизняна промисловість не випускала самозахисний дріт малого діаметра.

Тому в ІЕЗ ім. С. О. Патока було створено самозахисний дріт марки ПП-АП60 діаметром 1,2–1,6 мм для зварювання у всіх просторових положеннях конструкцій з вуглецевих і низьколегованих 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 відміне відокремлення шлакової кірки, правильну форму швів, дозволяє проводити зварювання металоконструкцій в умовах монтажного майданчика у всіх просторових положеннях.

При зварюванні спостерігається незначне розбрикування металу і незначне виділення аерозолі. Дріт пройшов комплексне випробування на підприємствах України.

До легуючих елементів відносяться алюміній, титан, церій, цирконій, селен, лантан. Вони зв'язують кисень і азот у стійкі неметалеві включення, які майже не впливають на зниження пластичності й в'язкості металу.

Для підвищення стабільності процесу зварювання до дроту додають церій, залишки якого в шві (сліди) підвищують еластичність і в'язкість металу.

Легованим дротом суцільного перерізу за допомогою відкритої дуги можна зварювати метал, покритий окисною, незначним налітом іржі, слідами масла.

Підготовка кромок металу, складання, техніка зварювання, продуктивність аналогічна зварюванню у вуглекислому газі. Зварювання виконують на постійному струмі прямої та зворотної полярності. Ориєнтовні режими наведено в табл. 9.15.

Таблиця 9.15

**Орієнтовні режими механізованого зварювання
самозахисним дротом суцільного перерізу Св-151 СТОЦА**

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Положення шва в просторі	Зварювальний струм, А	Напруга дуги, В
≥ 2	1,0	У всіх положеннях	130–170	23–25
≥ 4	1,2	Те ж	170–190	23–25
	1,6	Нижче, вертикальне, горизонтальне	180–220	23–25
≥ 6	2,0	Нижче	260–300	27–29

Недоліком застосування цього способу зварювання є те, що зовнішній вигляд шва гірший, він покритий товстою плівкою оксидів, які щільно зчеплені з його поверхнею.

1. Які переваги зварювання в захисних газах?
2. Як класифікуються способи дугового зварювання в захисних газах?
3. Які способи подачі захисного газу в зону зварювання?
4. Укажіть способи підготовки кромок до зварювання.
5. Як впливає швидкість зварювання на ефективність газового захисту?
6. Назвіть основні схеми зварювання в захисних газах.
7. Які гази використовуються для захисту дуги?
8. Які несплавні електроди використовують при дуговому зварюванні в захисних газах?
9. Які переваги мають порошкові й самозахисні дроти?
10. Що входить до комплексу обладнання та апаратури для дугового зварювання в середовищі захисних газів?
11. Для чого призначений підігрівач, осушувач і витратомір 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, рід і полярність струму?
16. При якій швидкості зварювання у шві можуть виникнути пори?
17. Чи впливає на глибину провіру і якість шва кут нахилу електроду?
18. Як проводиться початок зварювання?
19. Як проводиться закінчення процесу зварювання?
20. Назвіть характерні особливості зварювання вугільним і графітовим електродом.
21. «Ліній» і «правий» способи зварювання, їх особливості та відмінності.
22. Що дає застосування аргонних сумішей ($Ar + CO_2 + O_2$)?
23. Які основні вузли напівавтоматів для зварювання в захисних газах?
24. Назвіть основні типи шлангових напівавтоматів.
25. Виберіть режим зварювання низьковуглецевої сталі товщиною 8 мм.
26. Виберіть джерело живлення для напівавтомата ПДГ-165-1 для зварювання у вуглекислому газі.

ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

10.1. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА СУТЬ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

Зварювання під флюсом є найпоширенішим 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, замінити технологію виробництва в багатьох галузях промисловості.

У суднобудуванні застосування зварювання під флюсом дозволило вивести на сьомий 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 полицками. У промисловості успішно діють поточні лінії з масового випуску зварних конструкцій і виробів, обладаних автоматами для зварювання під флюсом. Під флюсом успішно зварюють конструкції з вуглецевих сталей, конструкції й апарати із низьколегованих сталей, а також нержавіючих, кислотостійких і жароміцних 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 відповідальної призначення, які працюють в умовах глибокого холоду, під дією високих температур і тиску, в агресивних рідких і газових середовищах.

Автоматичне зварювання під флюсом найвідмінніше застосовувати при масовому виробництві однотипних металевих виробів, які мають зручні для утримання флюсу з'єднання правильної форми.

Найавтоматичніше 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 доцільно зварювати рідкісні конструкції з великою кількістю коротких з'єднань.

Промислова технологія зварювання під флюсом була розроблена в 1930-1940 рр. в Інституті електричного зварювання ім. С. О. Нахона.

Основні переваги зварювання під шаром флюсу:

- підвищується продуктивність праці (у 6-12 разів) за рахунок застосування високих струмів, збільшення глибини проплавлення, відсутності втрат металу на вигар і розбризкування;

- механізація процесу зварювання;

- висока якість зварних швів за рахунок вираженого захисту флюсом зварювальної ванни від повітря;

- поліпшення 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;

- ігнорія дуги, формування шва закриті флюсом;

- флюсовий пил і пари флюсу небезпечні для здоров'я зварників;

- для зварювання необхідне складне обладнання.

- потрібне точне збирання кромок під зварювання і використання спеціальних прийомів зварювання для запобігання витіканню 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 сивучого зернистого флюсу (рис. 10.1).

Під дією тепла дуги 9 розплавляється основний метал 8, електродний дріт 1 і частина флюсу 5, який безпосередньо прилягає до зони зварювання. Електродний дріт подається вниз у зону зварювання з швидкістю його плавлення, плавиться та виходить у шов у вигляді окремих крапель. Одночасно з швом дріт переувається відокремлюючи кромок у результаті чого проходить зварювання.

У зоні горіння дуги утворюється порожнина 2, обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу 3. Ця порожнина

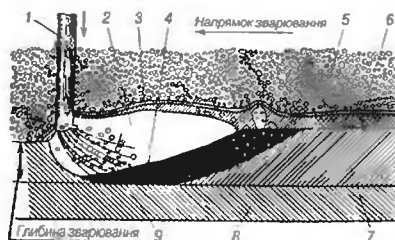


Рис. 10.1. Схема горіння зварної дуги під флюсом:

1 — електродний дріт;
2 — порожнина;
3 — рідкий шлак;
4 — рідкий метал;
5 — флюс;
6 — шлакова кірка;
7 — зварний шов;
8 — основний метал;
9 — дуга

заповнена шарою металу, флюсу чи газами, їх тиск підтримує флюсове склеїння, що утворюється над зварювальною ванною, та надійно захищає розплавлений метал від шкідливої дії кисню її азоту повітря, а також запобігає розбризкуванню металу.

У порожнині створюється великий тиск газів, які відтісняють частину рідкого металу d в протилежний бік до напрямку зварювання. Після вистигання рідкого металу утворюється зварний шов 7 , покритий кіркою шлаку 6 .

Флюс захищає дугу та зварювальну ванну від шкідливої дії навколишнього середовища, впливає на її метал і перешкоджає розбризкуванню рідкого металу. Розплавлений флюс, маючи низьку теплопровідність, уповільнює процес охолодження шва. При цьому шлакові включення її розчинні гази легше підіймаються на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення.

Перозплавлений флюс відсмоктують із шва пневматичним пристроєм і використовують 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 відбортунням, без скосу кромки, із скосом однієї або двох кромки, з двома скосами однієї або двох кромки. Скос кромки може бути прямий, криволінійний, 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 флюсоподібній підкладці;

Ас — автоматичне зварювання під флюсом на сталевій підкладці;

Апш — 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;

Пс — 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 різниці товщини перевищує значення, вказані в табл. 10.1, то при стиковому зварюванні на листі більшої товщини повинен бути зроблений скос з однієї або двох сторін листа.

Таблиця 10.1
Конструктивні елементи відготовлених кромки і виконаних швів автоматичним і напівавтоматичним зварюванням під флюсом

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромки	Увізвене позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Мінім. товщина деталей, мм
			Групова кромка зварних деталей	Шва зварного з'єднання		
Стикове	Без скосу кромки	C2			А, П	2-20
Стикове	Із скосом двох кромки	C17			А ф, АМ	8-24
Стикове	З криволінійним скосом двох кромки	C21			А	24-160
Стикове	З двома симетричними скосами двох кромки	C30			А, П	20-60
Кутове	Із скосом однієї кромки	K3			Апш, Ппш	8-20
Таврове	З двома скосами однієї кромки	T10			А, П	16-40
Внаступ	Без скосу кромки	П1			А, П	1-20

Позначення: S, S_1 — товщина металу, мм; b — зазор, мм; c — величина пригнуття, 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.

Для підготовки кромки завжди від товщини металу використовують механізоване кінцеве різання, механічне різання на ножних, на відрізних верстатах і в штампах на пресах.

Підготовлені кромки перед збиранням повинні бути очищені від іржі, окислини, забруднень від сліди консервації, мастильно-охолоджувальних рідин, захарок і шлаку. Очищують торцеві кромки деталей і ділянки, які прилягають до них шириною 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 несправів і щопалів.

Деталі при збиранні закріплюють струбцинами, скобами, црихватами довжиною 50–80 мм, які зварюють покритими електродами для сталі даної марки. Перед зварюванням всі прихватки старанно очищують від шлаку і бризок.

Зварювання слід починати на вхідних, а закінчувати на вихідних технологічних планках, які після встигання 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 механізованим збудженням електричної дуги, підтриманням її постійного горіння, подачу електрода в зону горіння дуги, переміщенням його вздовж зварних кромки із швидкістю зварювання; захист розплавленого металу від шкідливої 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 шва здійснюється ручним способом.

Обладнання, яке використовується при автоматичному зварюванні, називається зварювальним автоматом, а при напівавтоматичному — зварювальним напівавтоматом.

Зварювальні шлангові напівавтомати класифікуються:

- за способом захисту дуги (в середовищі захисного газу, під флюсом, без додаткового захисту, універсальні);

- за типом електродного дроту (сушілого перерізу, порошкового або водіючас для дроту сушілого 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 вивнесеним подавальним механізмом;

- за транспортабельністю (стаціонарні або з переносним подавальним механізмом).

Значного поширення набули напівавтомати для дугового зварювання (розроблені в Інституті електрозварювання ім. С. О. Патога 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 як у 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 кромок, 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).

Шланговий 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, маєла й іржі. Електродний дріт подається за допомогою електродвигуна трифазного струму потужністю 100 Вт, який через

редуктор обертає ведучий валік механізму подачі. Між ведучим і притискним роликком просувається електродний дріт. Переключачою шестерні коробки швидкоїсть можна змінювати швидкоїсть 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 дроту по центральному каналу в зону дуги. У шланг вмонтований провід для підведення зварювального дроту 4 і проводу керування й виконання електродвигуна механізму подачі 3; вклучення та виключення зварювального струму.



Рис. 10.2 Шланговий провід:

1 — електродний дріт; 2 — сталевий спіраль; 3 — провід керування й виконання електродвигуна механізму подачі; 4 — провід для підведення зварювального дроту; 5 — ізоляція

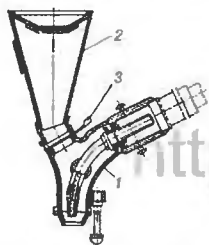


Рис. 10.3. Тримач для зварювання від флюсом:

1 — трубчастий муштук з рукою; 2 — лійка для флюсу; 3 — пластинчаста заслінка

Тримач (рис. 10.3) — це трубчастий муштук з рукою і спеціальною лійкою для флюсу. Лійка вміщає 1,5 кг флюсу і обладнана пластинчастою заслінкою. Шафа керування обладнана контрольними приладами (амперметр, вольтметр) і пристроями для вмкнення і виключення системи керування. У напівавтоматах ПШ електродвигун для подачі електродного дроту і струм зварювальної мережі вклучаються при вмкненні зварювального дроту на виріб; процес зварювання закінчується при віддаленні тримача від поверхні зварного виробу, тобто обривом зварної дуги.

Шланговий напівавтомат ПДШ-500 порівняно з напівавтоматами типу ПШ має дві суттєві особливості. ПДШ-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 змонтований на рухомому візку та працює від електродвигуна постійного струму через понижуючий редуктор. Ведучий і притискний ролик подають електродний дріт із касети по шлангу в зону зварювання. Швидкоїсть подачі електродного дроту встановлюється реостатом, уключеним у мережу

обмотки електродвигуна. На візку закріплений бункер з пристроєм для пневматичної подачі флюсу в зону зварювання. Повітря використовується від повітряної мережі або компресора. На панелі візка встановлені вимірювальні 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 швидкоїсті 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 зупиняє 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 пересуватись 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 — несамохідні (підвісні) та самохідні, в т. ч. трактори;
- способом захисту 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 електродом (без присаджувального металу та з ним);

— видом плавкого електрода — для зварювання другим (судинного перерізу чи порошковим), стрічковим (судинного перерізу чи порошковим) і штучним (стержнями чи пластинами) 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;

— ролю 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, плавнотупінчастим і ступінчастим регулюванням;

— способом формування металу шва: для зварювання з вільним формуванням (як правило, в шкільному положенні) та з примусовим (в основному на вертикальній, похилій та криволінійній поверхнях).

До складу зварювальних і наплавляючих автоматів входять мундштуки чи пальники (зварювальний інструмент), механізм подачі електродного чи присаджувального матеріалу, механізми переміщення вздовж лінії з'єднання, регульованих, допоміжних і коректувальних переміщень, пристрої для розміщення присаджувального чи електродного матеріалу; фольгова 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 швидкість його плавлення. У процесі зварювання ця умова порушується різними факторами: зміною напруги в мережі, нечіткою роботою подаючого механізму, нерівностями поверхонь зварних кромок, при яких зміщується 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 висичини 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. Є. О. Патона). Електродниву, який через редуктор і ролики забезпечує подачу електродного дроту, живиться безпос-

редньо від мережі. Тому швидкість обертання електродниву 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 кромок), то напруга на дузі знизиться. Оскільки зовнішня характеристика джерела живлення дуги падаюча, 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). Підвищення швидкості плавлення при постійній швидкості його подачі призведе до вдовження 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 6–8%.

10.6.1. Автоматичні підвісні головки

До складу автомата АД-202 (рис. 10.4) входять механізм подачі з притискним і правильним механізмом, мундштук, слідкуючий датчик, супорти горизонтального та вертикального переміщення для корегування положення з даним приводом постійного струму, а також бункер для флюсу з пневмоклапаном.

Відсутність жорсткого зв'язку між елементами автомата забезпечує невелику масу головки і дає змогу розміщувати ці елементи на відстані від зони зварювання. АД-202 зручний 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 зонішого програмуючого пристрою.

Автомат АД-202 використовується для комплектації верстатів, колон і поточкових ліній для зварювання футрових, таврових і стикових швів із розчищенням кромок.

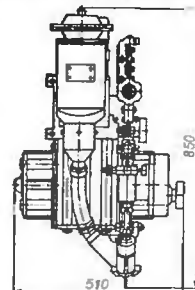


Рис. 10.4. Автомат АД-202

Зварювальний трактор ТС-17 М (рис. 10.5) призначений для виготовлення і монтажу різних будівельних конструкцій (ферм, мачт, балок), для зварювання під флюсом зовнішніх і кільцевих швів, а також для зварювання труб і резервуарів діаметром 1200 мм. Швом можна також зварювати прямолинійні, колісні і стикові шви напущованих 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. Подаючий механізм складається з понижуючого редуктора та двох роликів (ведучого й приписного), між якими протягується електродний дріт. Механізм пересування трактора складається з редуктора і двох ведучих бігунів, 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 струмопровідних мундштуки. Для електродного дроту діаметром 1,6–2 мм застосовують грубший мундштук із бронзовим наконечником, який забезпечує епійкий 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.

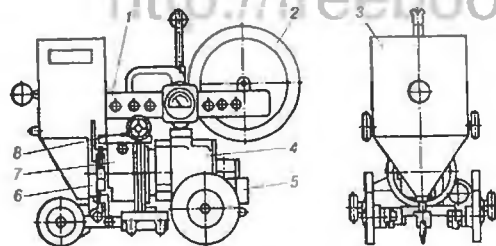


Рис. 10.5. Зварювальний трактор ТС-17 М.

1 — панель керування; 2 — касета для електродного дроту; 3 — бункер для флюсу;
4 — електродвигун; 5 — ходовий 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 патрубків, по

якому флюс подається в розробку кромок. Якщо стиковий шов зварюють без розробки кромок, то трактор направляють уручну. Якщо зварюють шов з розробкою кромок, то на одну із штанг підвіски встановлюють копір, який складається з двох послідовно розташованих роликів. Останні при зварюванні котяться по розробці кромок і тим самим направляють трактор уздовж шва. При зварюванні швів «у човник» копирувальним елементом служить закріплений на штанзі ролик, який котиться по куту зварної о шва. Трактор має трикопковий пульт керування. Крім того є додатковий пульт керування, який використовується при зварюванні швів на циліндричних виробах (котли, цистерни, резервуари) для керування електродвигуном стелда, на якому обертається зварний виріб.

10.6.2. Зварювальний автомат АДФ-1250

АДФ-1250 призначений для зварювання шлавним електродом з'єднань із вуглецевих сталей під флюсом устик з розробкою кромок і без розробки, кутівих швів похилим електродом, а також напущованих швів. Останні можуть бути прямолинійними й кільцевими. У процесі роботи трактор переміщується по виробу або по вкляденій на ньому напрямній колі.

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 напруги;
- регулювання зварювальної головки:
 - а) навколо вертикальної осі несучої колонки на кут 90° з фіксацією положення;
 - б) навколо своєї позовдовжньої осі на кут 45° з фіксацією положення;
 - в) по вертикалі і горизонталі на 50 мм від середнього положення за допомогою двох гвинтових супортів;
- 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 відсмоктування залишків флюсу в бункер після зварювання.

Технічні характеристики автомата АДФ-1250:

- номінальний зварювальний струм при ПВ = 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;
- колісна колія, мм — 290;
- вмістимість касети для дроту, кг — 30;
- вмістимість 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, висіт 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 вглиб основного металу. При цьому глибина проплавлення основного металу збільшується, незвично зростає ширина шва, а коефіцієнт форми шва зменшується. Основні розміри шва в поперечному перерізі зображено на рис. 10.6.

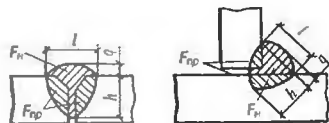


Рис. 10.6. Основні розміри шва в поперечному перерізі:

l — ширина, q — висота посилення; $F_н$ — глибина проплавлення; $F_э$ і $F_еп$ — площі шва, утворені за рахунок проплавлення 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:

$$h = K \cdot I_{зв}$$

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 вгвір і встїк з розробкою кромок	наплавлення і зварювання встїк 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 ішлями 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 дуги при незмінному струмі (збільшення швидкості струму) призводить до зворотного явища – шосередження активної плями на осі електрода і зменшення блукання дуги поверхню зварювальної ванни. Внаслідок цього глибина проплавлення зростає, а ширина шва зменшується.

10.6.3. Напруга дуги

Із усіх параметрів механізованих способів зварювання на вирині шва найбільше впливає напруга дуги.

Із підвищенням напруги дуги збільшується її довжина й рухливість. При цьому зростає частка тепла, що йде на напівлення 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 напруги дуги збільшення ширини шва залежить також і від роду струму. При однакових значеннях напруги 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 напруги дуги на ширину проплавлення при зварюванні змінним струмом

Напруга дуги, В	Ширина проплавлення, мм
25	15
40	16
43	22

Примітка: I_{зв} – 600–640А; дел – 5 мм; V_{зв} – 24 м/год; флюс АН-3

Таблиця 10.5

Вплив напруги дуги на ширину проплавлення при аварюванні постійним струмом

Напруга 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} – 550А; V_{зв} – 24 м/год; дел – 5 мм; флюс АН-348.

Зварювальний струм і напруга дуги протилежно впливають на форму шва. Тому для одержання шва оптимальної форми збільшення зварювального струму при збільшенні товщини зварюваного металу повинне обов'язково супроводжуватися відповідним підвищенням напруги дуги. На практиці напруга дуги встановлюється залежно від величини зварювального струму і діаметра електрода (табл. 10.6).

Таблиця 10.6

Залежність напруги дуги від зварювального струму при зварюванні під флюсом

Струм, А	Напруга дуги (В) при діаметрі дроту, мм	
	2 (флюс АН-348А)	5 (флюс АН-348А) (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 виділяється 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 зростає кінетичної енергії позитивно заряджених іонів, які бомбардують катод, більше тепла буде виділятися на катоді.

Виходячи з цього, при автоматичному і напівавтоматичному зварюванні під флюсом простійшим 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 напрузі впливає на глибину та ширину проплавлення, а також на площу поперечного перерізу шва внаслідок зміни положення стовця дуги, товщини шару рідкого металу під дугою і поточної енергії зварювання.

Із збільшенням швидкості зварювання стовпа дуги відхиляється вбік, протилежний напрямку зварювання. При цьому з-під дуги витісняється більше рідкого металу і товщина його шару зменшується. Разом з тим зменшується погонна енергія 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 чинить опір заглибленню дуги й збільшенню проплавлення основного металу. 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 погонна енергія зварювання і площа перерізу шва зменшуються. При подальшому збільшенні швидкості зварювання вплив зменшення погонної 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 зниження погонної енергії зварювання й відхилення стовпа дуги. При цьому зменшується прогрів зварних кромки і рідкого металу зварної ванни. При зварюванні із швидкістю понад 70–80 м/год ширина проплавлення основного металу буде більшою шириною затверділого валка шва, а по обидві його боки утворюються не заповнені металом канавки.

Швидкість зварювання, при якій забезпечується якісне формування шва, визначають за формулою:

$$V_{зв} = \frac{2500}{I_{зв}}$$

де $V_{зв}$ — швидкість зварювання м/год; $I_{зв}$ — зварювальний струм, А.

При необхідності вести зварювання на великих швидкостях застосовують спеціальні методи (двовугне зварювання, зварювання трифазною дугою та ін.).

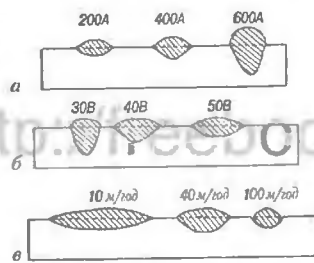


Рис. 10.7. Вплив сили зварювального струму (а), напруги дуги (б), і швидкості зварювання (в) на геометричні розміри і форму шва

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 замикання електрода на зварну ванну. Це спричинює неспровари та погане формування шва.

10.6.7. Виліт електрода

Із збільшенням вильоту електрода зростає інтенсивність його попереднього підігріву зварювальним струмом, який проходить через нього. Електрод плавиться швидше, а основний метал залишається порівняно холодним. Крім того збільшується довжина дуги, що призводить до зменшення глибини провару й до деякого збільшення ширини шва.

10.6.8. Нахил електрода вздовж 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 проварку 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 проплаваються кромки, що дає можливість проводити зварювання на підвищених швидкостях.

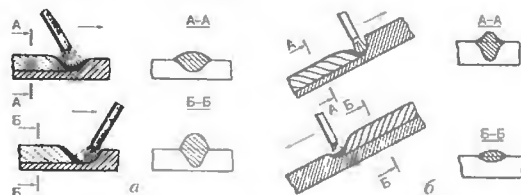


Рис. 10.8. Вплив кута нахилу електрода (а) і кута нахилу виробу (б) на геометричні розміри і форму шва

При зварюванні кутом назад рідкий метал тиском газів витісняється з-під дуги. Товщина проварку рідкого металу під нено зменшується і глибина провару збільшується. Збільшується також висота посилення шва, але значно зменшується його ширина. Внаслідок глибокого провару і недостатнього прогріву зварних кромок можливе несплавлення основного металу з наплавленим і утворення пористості шва. Тому зварювання кутом назад застосовують обмежено. В основному його застосовують при зварюванні великих товщин на невеликих швидкостях (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 вверх (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 підрізи. При цьому зовнішній вигляд шва погіршується.

При зварюванні на спуск розплавлений метал підікає під дугу, що призводить до збільшення товщини проварку рідкого металу. При цьому глибина провару зменшується. Зварювання на спуск дозволяє збільшити швидкість зварювання при якісному формуванні шва. Невелика глибина провару дозволяє застосовувати цей спосіб при зварюванні тонкого металу. При куті нахилу понад $15-20^\circ$ відбувається сильне розтікання електродного металу, який налітає на поверхню зварного виробу, але не сплавляється 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 напруга на ній. При цьому зростає ширина шва і зменшується глибина провару. Чим крупніший флюс, тим менша його об'ємна (нашпінна) маса. Флюси з малою об'ємною масою (крупнозернисті, скло- та неоксидні) здійснюють менший тиск на газову порожнину 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 розтанується в шкв. 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 непервар 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, кутовий шов таврового з'єднання можна прирівняти 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 широкий 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 пропалу. Аналогічно може впливати й підвищення температури металу, що зварюється, якщо провар дорівнює $3/4$ його товщини.

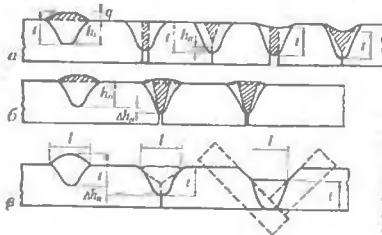


Рис 10.9. Вплив зазору і розробки кромок на форму шва:

а — вплив зазору і розробки, б — вплив глибини розробки, в — вплив ширини розробки; l — ширина шва; q — висота підсилення; h — глибина проплавлення; t — товщина шва ($t = h + q$)

10.8. ТЕХНІКА АВТОМАТИЧНОГО ТА НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

При ручному зварюванні можна в доволі широких межах регулювати ширину шва і глибину провару, не 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 впоперек шва з різною амплітудою й частотою, що дозволяє в широких межах змінювати форму та розмір шва; зварюванням спареним електродом, коли електроди розміщені впоперек на шляху зварювання. При їх послідовному розміщенні глибина проплавлення, наплавки, 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. Цьому запобігають спеціальними способами. 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 частинною кромкою. 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 тижих, 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 якесь шва залежить від надійності підтискання до цих кромки. При зазорі вище 0,5 мм розплавлений метал може витікати з нього, що призво-

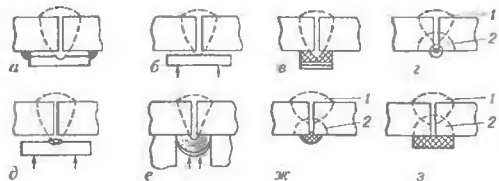


Рис. 10.10. Схеми пристроїв для утримання зварювальної ванни та шляху й формування зворотного валика при зварюванні під флюсом.

a — підкладка, що залишається; *b* — тимчасова підкладка; *в* — глуха стрічка; *г* — ручне підварювання; *е* — міднофлюсова підкладка; *е* — флюсова подушка; *ж* — заплюкування зазору вогнистим матеріалом; *з* — азбестова підкладка; *a*–*в*, *д*, *е* — однобічні шви; *г*, *ж*, *з* — двобічні шви, 1 — перший шов, 2 — 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 збільшену вглиб формуючу канавку в мідній підкладці можна заснати флюс — так виконують зварювання на міднофлюсовій підкладці. Однобічне зварювання на флюсовій подушці при цільному підтисканні флюсу забезпечує повне проварювання кромки добре формування кореня шва при меншій точності складання кромки завтовшки 2 мм і вище. Флюс під стиком підтискується повітрям, яке подається в пилан, а при зварюванні кільцевих швів — спеціальною ігучною стрічкою. При протіканні флюсу зварювальні листи від перекосу утримують спеціальними при підкачках або магнітами на спеціальних стелдах.

Нині застосовують підкладки з термостійких, синтетичних і керамічних стрічок одноразового користування.

В однобічних швах не завжди забезпечується добре формування кореня шва. Тому у відновляльних конструкціях використовують зварювання з обох боків. При цьому перші валики в коренях швів мають неперекрити один одного на 2–5 мм. Щоб запобігти протіканню розплавленого металу в зазор між кромками кращі результати отримують при попередньому підварюванні, яке часто служить як прихвачувальний шов при складанні. Після кантування виробу при першому основному проході підварювальний шов треба повністю перепарувати.

Залежно від площі поверхнього нерерізу і положення зварювання кутові шви можуть зварюватися зі скошенням чи без скошення кромки, однопрохідними і багатопрохідними швами. Зварювання можна виконувати (рис. 10.11 *a*) в положенні «у човник» або похил

При зварюванні «у човник» можна одержати одношаровий шов або кожен шов у багатшаровому шві більшого перерізу, ніж при зварюванні похилим електродом, де можливий підріз 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 переїлається при зварюванні основного шва. При положенні «у човник» техніка зварювання не відрізняється від техніки зварювання стикових швів із розробкою кромок: за один прохід можна зварити шов з катетом до 14 мм.

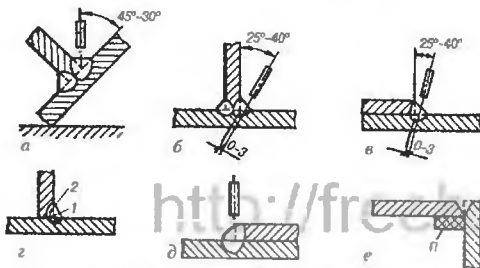


Рис. 10.11. Схема зварювання кутових швів:

а, д — зварювання вертикальним електродом таврового з'єднання; б, в — зварювання похилим електродом таврового і напукткового з'єднання; г — послідовність (1, 2) зварювання багатпрохідних швів; е — встановлення підкладки Пу кутового з'єднання

При зварюванні похилим електродом утворення підрізу обмежує можливість одержання шва з катетом понад 6 мм. У цьому випадку особливо важливо точно направляти електрод у розробку кромок. Для забезпечення провару при різних товщині зварювальних елементів зварювання може виконуватися в несиметричній «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 напукткових з'єднаннях при товщині верхнього листа до 8 мм зварювання можна вести вертикальним електродом з ошліфуванням верхньої кромки (рис. 10.11 д). Кутові з'єднання можна зварювати вертикальним електродом з мідною підкладкою (рис. 10.11 е).

10.9. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ НАПІВАВТОМАТІВ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для забезпечення безперервної і довготривалої роботи напівавтоматів, а також для своєчасної ліквідації дрібних несприятливостей при їх експлуатації необхідно проводити контрольно-профілактичні роботи.

Кожного дня перед роботою необхідно:

- перевірити стан наконечників мундштука. При зношенні, яке викликає порушення контакту електрода із струмошлудом, наконечник слід замінити;
- перевірити місце кріплення мундштука до шлангового кабелю. Мундштук повинен бути щільно нагнутий на наконечник кабелю і мати стабільний електричний контакт;
- оглянути зміне сопло зварювального пальника. При забрудненні сопла бризками його необхідно зачистити. Пальник повинен бути щільно затиснутим і не прокручуватися;
- перевірити стан контактів реле і контактів у місцях підкаючення проводів та у випадку підторяння зачистити їх;
- оглянути ізоляцію з'єднувальних проводів, при наявності пошкоджень відновити ізоляцію;
- перевірити роботу напівавтомата пробним включенням пускової кнопки;
- у напівавтоматів для зварювання в захисних газах перевіряють усі з'єднання газопровідної мережі. Вони повинні бути щільними та не пропускати газу.

Один раз на тиждень потрібно:

- перевірити подаючий ролик. При пробуксовуванні дроту внаслідок спрацювання, його необхідно замінити;
- перевірити рівень змазки в редукторі механізму подачі й при необхідності долиги її;
- очистити від бруду канал спіралі по якому подається електричний дріт, використовуючи при цьому один із наступних способів:

1. Продування каналу 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 в

канал заливають 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 шток електродвигуна механізму подачі; виявлені несправності усувають.

Один раз на рік рекомендується промити і змастити корпус, зубчаті колеса й шарикові підшипники редуктора приводу механізму подачі.

Переладки 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 залягається	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 кусачками
При включенні пускової кнопки не подається електродний дріт	Перегоріли запобіжники. Поганий контакт у пусковій кнопці Обрив однієї з фаз у колі електродвигуна (електродвигун горить)	Замінити новим Зачистити контакт Відключити шафу керування від мережі та ліквідувати обрив
У процесі зварювання спостерігається нерівномірний подача електродного дроту при нормальній роботі двигуна подаючого механізму	Слабкий тиск електродного дроту верхніми притискними роликками Велике спрацювання ведучих роликків Задання електродного дроту в наконечнику зварювального пальника	Відрегулювати тиск притискних роликків змінюючи зусиль спіральних пружин Помити місяцями половини притискних роликків або замінити новими Прочистити наконечник, а у випадку його підгоряння або надмірного спрацювання замінити новим
Корпус зварювального пальника знаходиться під напругою	Багато дрібних згинів зварювального пологого кабелю	Розтанувати пологий кабель так, щоб згини були ціваними Перевірити стан ізоляції й відновити її Видалити металеві предмети

Застереження таблиці 10.7

Несправності, зовнішні прояви	Можливі причини	Способи усунення
У процесі зварювання електродний дріт утворює петлю між подаючими роликками і входним штуцером пологого кабелю	Велика віддаль між подаючими роликками та входним штуцером пологого кабелю	Наблизити входний штуцер пологого кабелю до подаючих роликків на відстані 1–2 мм
При нормально працюючому двигуні полочі електродного дроту періодично об'їмається дуга	Мала швидкість подачі електродного дроту Великий зварювальний струм	Збільшити швидкість подачі електродного дроту Збільшити силу зварювального струму
Періодичне примерзання електродного дроту до виробу	Малий зварювальний струм	Збільшити силу зварювального струму
Швидко спрацювання подаючих роликків	Велика швидкість подачі електродного дроту Надмірне притискання притискних роликків	Зменшити швидкість подачі електродного дроту Послабити натиск пружин
У напівавтоматах із напівавтоматичною подачею флюсу приймається подача флюсу в зварювальну головку	Забруднюється інжектор або флюсова трубка У флюсі міститься велика кількість флюсових голків Недостатній тиск стиснутого повітря	Прочистити інжектор, трубку і просунути флюс Дробити флюс в шаровому млині з наступним відсівом флюсового пилю Збільшити тиск
При зварюванні в захисних газах спостерігається пориристість у металі шва	Поганий захист зони зварювання Підвищена вологість газу Підвищена напруга на дузі	Перевірити якість газового захисту Перевірити якість захисного газу, поміняти балон Змінити напругу і встановити її згідно режиму
Немає витoku газу із сопла при відкритому редукторі й тиску в балоні	Невідповідність марки дроту	Уточнити хімічний склад дроту
	Отвір редуктора закупорився льодом через вологість підігрівача газу Перетиснуто або обірвана газова магистраль Не спрацював відсікач газу	Відігріти редуктор і включити підігрівач Ліквідувати перетиск або обрив Перевірити наявність живлення електричного магніту
	Вихідний отвір газового сопла закритий бризками	Очистити бризки 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 кромки використовують при зварюванні під флюсом?
4. Як впливає сила струму на коефіцієнт форми шва?
5. Як впливає напруга дуги на ширину шва?
6. Чи впливає швидкість зварювання і кут нахилу електрода на геометричні 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 пилантові напівавтомати?
13. Яка будова пилантового напівавтомата ПДШ-500?
14. Які операції включають контроль-профілактичні роботи?
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 залізного газу для зварювання під флюсом?

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

11.1. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Метод електрошлакового зварювання (ЕШЗ) — це принципово новий спосіб зварювання плавленням. Випаїшов 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 гідротурбін, станин потужних пресів, бандажів обертових печей, рам шоккових дробилок), при монтажі великих машин і конструкцій.

Стало можливим на монтажній площаді з'єднувати зварюванням деталі великої товщини, дотримуючись при цьому великої точності розмірів виробу.

Застосування ЕШЗ на монтажі дозволило споруджувати і монтувати кожухи доменних печей, корпуси обертових цементних і металургійних печей. Продуктивність при цьому зростає в 5–6 разів.

За допомогою ЕШЗ і плавлення можна одержати біметалеві заготовки, облицювати 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 з'єднання 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 скошу зварних кромок, що значно скорочує відходи металу і зменшує витрати на підготовку кромок 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 використовується 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 посиленнях шва;

5. Завдяки малій витраті флюсу помітно зменшується кількість тепла, яке витрачається на його шавлення, 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 легазія металу шва і в ньому рідко утворюються пори, навіть коли кромки зварного металу ржаві, а флюс вологий;

7. Паявність рідкого металу над кристалізованим металом шва сприяє витісненню з нього шкідливих домішок. Шви, виконані ЕШЗ, менш схильні до утворення тріщин;

8. Метал будь-якої товщини електрошлаковим способом зварюється за один прохід. При цьому не виникають такі поширені при багатопаровому зварюванні товстого металу дефекти, як шлакові включення;

9. При ЕШЗ зварний метал прогривається 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 бляшовій зоні різко знижується ударна в'язкість металу через його перегрів. Його можна ліквідувати тільки термічною обробкою, яка викликає перекристалізацію.

При зварюванні середньолегованих сталей і особливо сталей з полішеними властивостями такою термообробкою повинне бути гартування з наступним відпуском.

Основні недоліки електрошлакового зварювання:

— можливість проведення зварювання тільки у випадку знаходження зварних площин 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 (планок, стартових кишень, «формуючих пристроїв»).

Використання цього способу дозволяє відмовитися від виготовлення багатьох виробів у сувільно литому і сувільно кованому 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 електроізоляційний флюс (шлак). Суть його в наступному (рис. 11.1). Зварні деталі 1 збирають вертикально без скошу кромок. Для формування шва і запобігання витіканню рідкого металу й шлаку з плавильного простору по обидва боки зазору розташовують мідні формувальні повзуни 2, що охолоджуються проточною водою. В утворений повзунний 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 заступає 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 дугувий 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, розплавляються

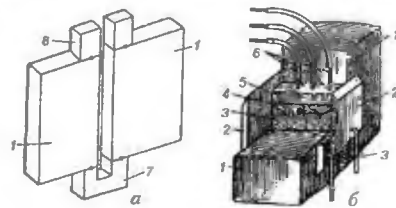


Рис. 11.1. Електрошлакове зварювання: а — зображення під зварювання; б — схема процесу зварювання; 1 — зварні деталі; 2 — формуючі повзуни; 3 — зварний шов; 4 — шлакова ванна; 5 — шлакова ванна; 6 — електроди; 7 — з'єднана планка; 8 — виділена планка

електродні дрого, розплавлений флюс (шаак) підтримується в рідкому стані, а зварні кромки оплаваються. Внаслідок відведення тепла зварними деталями й мідними повзунами металеві ванни 4 тверднє і утворюється зварний шов 3. Електродні дрого та формуєчї повзуни зв'язані з холодовою частинною електрошлаковою установкї і в міру заповнення зазору електродним металом переміщуються догори із швидкістю зварювання. Наприкінці процесу зварювання шлакова й металева ванни виводяться на вихідні планки. На початку та в кінці зварювання на західних і вихідних планках часто утворюються дефекти (непровари, усадочні тріщини, шлакові включення), які видаляють разом з планками газовим різакком 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, надаючи 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.

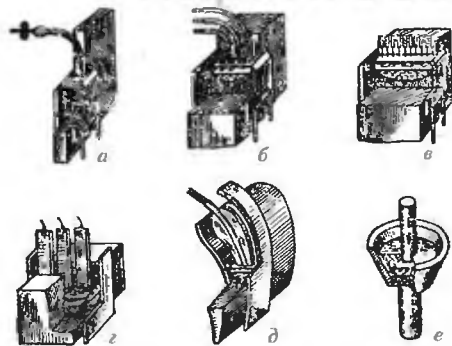


Рис. 11.2. Схема способів ЕШЗ:

а — одноелектродне; б — трьома електродами; в — багатоелектродне; г — пластинчастим електродами; д — плавким мундштуком; е — стикове електрошлакове

Зварювання пластинчастим електродом (рис. 11.2 г) використовують для швів висотою до 1,5 м. Крім пластин, розміри та кількість яких вибирають залежно від товщини металу, можна застосувати товсті стрижні круглого та квадратного перерізу. Апаратура для зварювання спрощується.

Зварювання плавким мундштуком (рис. 11.2 д) послуг зварювання дрогою й пластинчастим електродом. У пластинчастому електроді роблять паз, або приварюють трубки для подачі електродного дрого. При зварюванні пластини не рухома; по плавкому мундштуку подається й плавиться дріт. Водні мундштук можна подавати декілька дрого й зварювати шви скляного криволінійного профілю.

Стикове електрошлакове зварювання (контактно-шлакове) (рис. 11.2 е) виконують без присаджувального матеріалу. Струм підводять безпосередньо до стрижнів, які зварюють. Після утворення шакової ванни та оплавлення торців струм виключають і стрижні зварюють. Цей спосіб застосовують при зварюванні валів, стрижнів арматури залізобетонних конструкцій.

11.3. ПІДГОТОВКА І СКЛАДАННЯ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ

При товщині зварюваного металу 200–400 мм кромки підготовлюють машинним різанням. При більшій товщині металу, а також для кльц вих швів кромки обробляють механічним способом.

При збиранні стикових з'єднань зміщення кромок не повинні перевищувати 2–3 мм. Для визначення розмірів окремих елементів конструкцій 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-лістни з двома круглими отворами чи інші пристрої. Ці пластини пропускаються в зазор між листами, а в отвір ($d = 40$ мм) забиваються циліндричні клини 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 пластини, приварені односторонніми швами з лицьового боку і які видаляються в процесі зварювання. Електрошлакові шви формують за допомогою водоохолоджуючих повзунів чи мідних підкладок, а також підкладок, які приварюються або з'єднуються в замок. Для початку наплавлення електрошлакового шва та виведення його кльци за межі зварного з'єднання використовують вхідні й вихідні планки.

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 крокками. За способом переміщення вздовж зварних кромок (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 механізованому електродуговому зварюванні. Включення становлять тільки мундштуки, що вводяться в зазор або розташовуються поза ним.

Введення мундштука в зазор спричинює зменшення вольтоутворення електродом і підвищення точності його напрямку, що досягається за допомогою коректування напрямку.

Механізм зворотно-поступального переміщення електродів у зазорі, відповідно до товщини зварювального металу, аналогічний описаному раніше. Причому 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 кромок; безпосередньо на виробі (рис. 11.3 в); комбіновано (рис. 11.3 г), 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 візком і рейкою часто жорсткий, візок має привідну шестерню, зчеплену з рейкою. В безрейкових апаратах цей зв'язок досягається за рахунок наявності потужної пружини, яка притискає з двох сторін зварних кромок візок колдового механізму. Можна також застосовувати магнітні притискачі, але вони небезпечні.

Пристрій для примусового утримування зварної ванни в зазорі між зварними крокками 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 (стіковому, кутовому або напуктовому).

Апарати з пластинчатими електродними або плавкими мундштуками застосовують для зварювання товстшого металу. Апарати з дротяним електродом є найуніверсальнішими та мобільними, бо

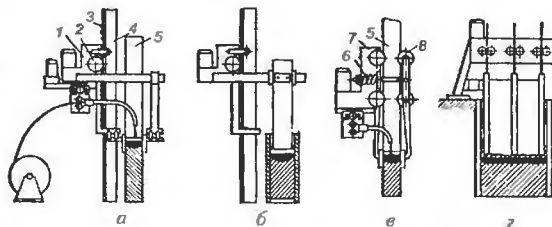


Рис. 11.3. Принципові схеми будови апаратів для електрошлакового зварювання:

а, б — рейкові апарати для зварювання дротяним і пластинчатим електродом; в — безрейковий вперст; г — підвісний апарат для зварювання плавким мундштуком; 1, 2, 3, 4, 5 — візок колдового механізму; 2 — привідна шестерня; 3 — рейка рейкового шлюзу; 4 — рейка; 5 — зварні кромки; 6 — притискача пружина

апарати з плавким мундштуком (рис. 11.3 г) не мають механізму переміщення вздовж зварних кромок. Вони оснащені механізмами подачі електродів, струбицями для закріплення апарата на виробі, струмопідводом, пультом керування і катушкою для зварювального дроту (в даному випадку чотири). Струбиця електрично ізолювана від апарата і має п'ять ступенів сво-

боди для точного встановлення мундштука в зазорі і напрямку дроту при зварюванні. Якщо апарат неможливо закріпити на виробі, 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 1 і стойка, на якому кріпляться головка та пристрій для підвіски мундштука й підведення до нього зварювального струму. Стойка установлена на системі супортів, які забезпечують правильне розміщення плавкого мундштука в зазорі між зварювальними крокками.

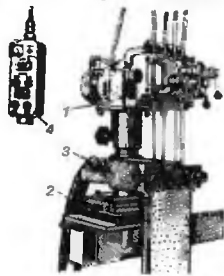


Рис. 11.4. Апарат А-1304 для електрошлакового зварювання плавким мундштуком:

1 — механізми подачі електродів; 2 — струбиця; 3 — струмопідвід; 4 — пульт керування

Основне обладнання для електрошлакового зварювання наведено в таблиці 11.1

Обладнання для електрошлакового зварювання

Найменування	Марка
Напівавтомати для зварювання дрютяними електродами	A-671P, A-681
Автомати для зварювання : дрютяними електродами, рейковими безрейковими пластинчати плавким мушштуком	A-820K, A-820M, A-535, A-433P A-612, 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
Випрямлячі	ВКСМ-1000-1, ВС-1000, ВДМ-3001, ВДМ-1601, ВМГ-5000

11.5. МАТЕРІАЛИ ТА РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ

При всіх способах ЕШЗ електродний дріт, пластини, стрічки й мушштуки, як правило, мають такий же хімічний склад, як і зварні заготовки або близькі до нього.

Для ЕШЗ використовують такі флюси: АП-8, АП-8М, АП-22, АП-25, АП-348А, АНФ-1П, АНФ-5, АН-15, АН-18, 48-ОФ-6.

Для початку електрошлакового процесу застосовують електропровідний флюс АП 25 у твердому стані. Вологий флюс перед застосуванням потрібно прожарити в електричній печі при температурі 300–700 °С 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 зворотного-поступального переміщення електродів; віддалі й витримка їх біля поверхні; інтенсивність охолодження формуючих пристроїв; марка флюсу й електродного матеріалу.

Ширина 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		Рекомендоване маркі електродного дроту	Марка флюсу	Підгірля до температури, °С
	$1 \cdot 10^{-3}$	м/год			
M16С, Ст 3, 20, 16 ГС, 22К, 25Л, 092 ГС	69	250	Св10Г2 Св-08Г2	АП-8М, АП-8	—
25 ГС, 25 ГСЛ 10ХСНД, 10Х1СНД	69	250	Св-09Г2СМ	АП-8М, АП-8, АП-22, ФЦ-7	—
35, 35Л, Ст 5	62	225	Св-08Х1Г2СМ	АП-8М АП-8, АП-22	200
20Х2МА, 14ГХ2ГМР	62	225	Св-08Х3Г2СМ	АП-8, АП-22	350
14ХМНДФ	55	200	Св-0ХГ12МЮ	АП-8, АП-8М, АП-22	—

зводить до зменшення об'єму шлакової ванни, температури її розгріву, зменшення глибини проплавлення, погіршення форми ванни рідкого металу, а це може спричинити появу осьових тріщин.

Виникає можливість короткого замикання струмопідвідних мушштуків із виробом. Збільшуються витрати електродного металу, зменшуються 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 використовують діаметром 2,5–3,0 мм.

При необхідності зварювання дротом більшого діаметра використовують 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 значній швидкості подачі дроту і незмінного струму можливе замикання електрода на металеву ванну, тобто коротке замикання зварювального кола.

Напруга на шлаковій ванні впливає на якість телла, яке виділяється в рідкому шлаку, що впливає на глибину проплавлення. Із збільшенням напруги збільшується глибина проплавлення, покращується форма ванни рідкого металу, збільшується стійкість металу шва проти осьових тріщин. Велика напруга призводить до перегріву і кипіння ванни. Можлива поява дугового розряду.

Підвищує напругу спротивності випарів, коротке замикання електродів на металеву ванну.

Кількість електродів, які використовуються, залежить від товщини металу. Зварювання проводиться одним, двома, трьома і гребінку 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 втрати флюсу — мала інтенсивність реакції взаємодії між рідким шлаком і металом виключає легування через флюс. Тому легування здійснюється через зварювальні матеріали, подачею порошкоподібних феросплавів, порошковим дротом.

11.5.1. Орієнтовні параметри ЕШЗ

Зварювальний струм може бути постійним або змінним. Прийнятний 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 кромок 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» виліт електрода 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, відаль від електрода до повзуна в крайньому положенні — 10 мм. Кінематична швидкість, на яку настраюють зварювальні апарати, повинна перевищувати середню швидкість зварювання в 1,5–2 рази.

11.6. ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Техніку ЕШЗ визначають прийоми, які дозволяють:

- надійно збуджувати процес зварювання при довольному переріз електрода;
- одержати якісний шов на початку при збудженні процесу після вимкнення його переривання.
- утримати зварну ванну і якісно формувати шов на вертикальній площині;
- достатньо рівномірно проварити кромки за довжиною й товщиною зварного металу.

11.6.1. Збудження процесу зварювання

Для збудження процесу необхідно замкнути зварювальний 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. Виконуються тільки при зварюванні електричними дротами або плавким мундштуком. При зварюванні пластичним електродом або електродами великого перерізу для збудження процесу зварювання використовуються спеціальний флікс АН-25, який має високу електропровідність у рідкому та в твердому стані. Можна використовувати керамічні флюси, механічну суміш крутки або порошку із феросплавів і шлакоутворюючих оксидів.

11.6.2. Одержання якісного шва

При ЕШЗ на початку шва (до 20–30 мм) утворюється непровар кромок, що є типовим дефектом вертикального зварювання, оскільки на початку зварювання зазор заповнюється рідким металом при непрогрітих кромках. Тому при зварюванні металу великої товщини 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 виводять 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.

Кінцеві шви починають зварювати в спеціальних кишенях, які утворюються двома вставками. Рух виробу здійснюється після повного зварювання кишені. Замість технологічних plansok використовують мідний кокіль, який охолоджується водою.

11.6.3. Вибір формуючих пристроїв

При ЕНІЗ у якості формуючих пристроїв використовують мідний повзунок або мідну нерухома підкладку, які охолоджуються водою.

При виборі формуючих пристроїв необхідно врахувати наступне:

1. Повзунок забезпечує хорошиший огляд зони зварювання, дає можливість здійснювати контроль положення електродів в зазорі й своєчасно коректувати його, а також контролювати глибину шлакової ванни;
2. При зварюванні електродними дротами повзунок дозволяє вводити мундштук у зазор збоку. При цьому зменшується їх довжина і збільшується стійкість;
3. Повзунок кріпиться до зварювального апарата або до спеціального механізму переміщення на підвісці, тому його встановлення займає менше часу ніж на встановлення підкладки;
4. Виготовлення повзунка 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 зміщення деталей;
6. Збиральні скоби значно менші ніж при використанні повзунка, менше часу потрібно на спостереження за підкладкою порівняно з повзуном.

11.6.4. Рівномірне проварювання кромки

Для забезпечення рівномірного проварювання кромки по довжині стику 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 занурюють у рідку 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 виступу, 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 ділянок товщини зварного металу і на визначену віддалі не доходив до ділянок переміщення сусіднього електроду на 20–40 мм. При зварюванні пластинчастим електродом оптимальна

ширина пластин становить 100–125 мм. Ефективне використання пластин шириною до 175–200 мм. Якщо потрібна більша ширина пластини слід переходити на три- або шестиелектродне зварювання.

На виробничих застосовують такі способи наведення шлакової ванни:

— «твердий старт», коли зварювальний флюс спочатку плавиться теплом зварної дуги на вхідній планці, а потім шунтується флюсом, який підсипається й розплавлюється;

— «рідкий 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 горіння дуги), ніж при стабільному електрошлаковому процесі. Для більш легкого збудження дуги на дно вхідної планки засипають металевий порошок, стружку, термітні суміші або встановлюють металеві вставки.

Найзручнішими для зварювання є прямокутні й кільцеві шви. Задання зварювання складних профілів завжди можна спростити при правильному конструюванні (наприклад, за допомогою місцевих приливів шириною 50–60 мм на бис; рис. 11.5 ж). У випадку малої доступності одного із боків шва можна використовувати підкладку, що відстає (рис. 11.6).

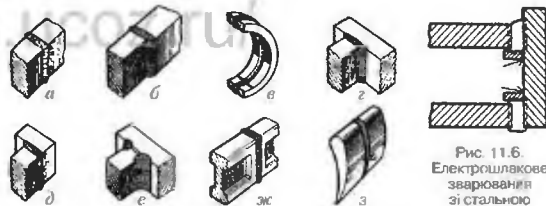


Рис. 11.5. Види зварних з'єднань, виконаних ЕНІЗ: а, б, в, ж — стикові; г, е — таврові; д — кутові; з — змінного перерізу

Зауважимо, що при наявності такої підкладки по довжині, стики повинні бути старанно проварені. Непровар може спричинити утворення тріщин. Для одностінних деталей, які часто повторюються в даному виробництві, можна використовувати мідні підставки або форми, що охолоджуються водою (рис. 11.7).

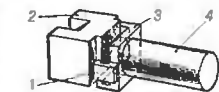


Рис. 11.7. Приклад мідної охолоджувальної форми для електрошлакового зварювання: 1 — повзунок, 2 — вилок, 3 — мідна форма, 4 — стержень

ЕПЗ устачно викоретовують при ремонті й виправленні дефектів лиття, наприклад, при заварюванні отворів (рис. 11.8).

Кільцеві шви за технікою зварювання відрізняються від прямолінійних конструктивним оформленням пристроїв для формування зворотного валка і необхідністю замикання кінця шва з початком. Зварювання кільцевого стику починають на допоміжній пластинці, ввареній у зазор стика (рис. 11.9 а).

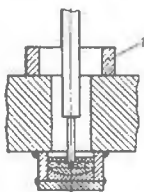


Рис. 11.8. Схема зварювання наскрізного отвору електрошлаковим способом;

1 — шлакутруймуча микокета (мідна, охолоджувана; сталь відстаюча; вогнетривка цегла з отвором)

Після зварювання приблизно півкола стику, ділянка з початком шва появляється на другому боці кантувача (рис. 11.9 б). Потім зварник виплавляє повітряно-дуговим або кшеневим рішанням початок шва до повної ліквідації непроварів і надає торцеві шва похилого зрізу, який полетшус виконання шва (замка) (рис. 11.9 в).

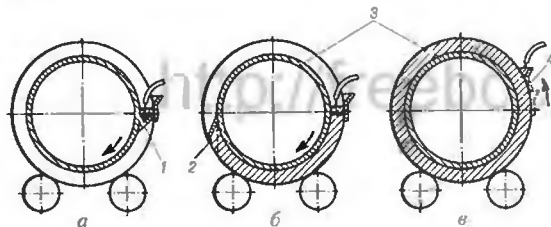


Рис. 11.9. Схема електрошлакового зварювання кільцевих швів;

1 — пластинка для початку зварювання; 2 — вирізка початку шва різцем; 3 — мідна прокладка; 4 — повзун

Усадкову раковину виводять або в спеціальній прилив у зовнішньому формуючому повзуні або в мідний кокіл, або ж виплавляють і заварюють уручну. Формування шва зворотного боку можна здійснювати сталієм кільцем, яке відстає; мідним кільцем, яке охолоджується, зворотним повзунком. Застосування сталевого кільця можливе тоді, коли конструкція виробу не вимагає його видалення або коли виріб піддається наступній механічній обробці. Крімки кільцевого стику, як і подовжніх стиків, скріплюють усередніні та ззовні звичайними П-подібними скобами або планками, привареними до стінок виробів. При зварюванні

з мідним кільцем, яке охолоджується 1 (рис. 11.10), воно закріплюється в отвір скоб 2 і закріпленості клинами 3, які збиваються між скобами й кільцем.

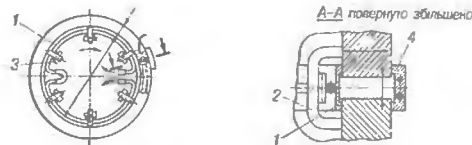


Рис. 11.10. Кільцевий стик;

1 — мідне кільце; 2 — отвір скоб; 3 — клин; 4 — повзун

Будову стику формуючого кільця показано на рис. 11.11. Зворотній повзун застосовується у випадках, коли дозволяє форма виробу.

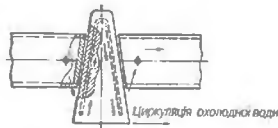


Рис. 11.11. Схема клинового з'єднання стику внутрішнього формуючого кільця

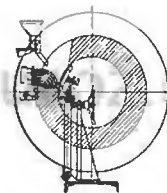


Рис. 11.12. Зварювання валу із застосуванням внутрішнього повзуна

При зварюванні закритих посудин невеликих розмірів, лазерних отворів і при розташуванні стику на значній віддалі від торця виробу встановлення такого повзуна утруднюється. Варіанти кривлення повзунів показано на рис. 11.12.

При зварюванні прямолінійних швів початок і кінець виводять за межі робочої частини з'єднання шляхом встановлення початкових і вивідних планок.

Зі 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 аргонном поверхню шлакової ванни (рис. 11.13).

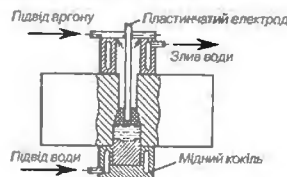


Рис. 11.13. Ескі стикового з'єднання покочок із титану з мідним кокілем, який охолоджується водою

- Охарактеризуйте специфічні особливості ЕШЗ.
- У чому суть ЕШЗ?
- Як проводиться підготовка кромок для ЕШЗ?
- Назвіть основні способи ЕШЗ, у чому їх різниця.
- Які основні параметри ЕШЗ?
- Які шви найкращі для ЕШЗ?
- Які електроди використовуються для ЕШЗ?
- Які принципів схеми будови апаратів для ЕШЗ?
- Охарактеризуйте техніку зварювання кільцевих швів.
- Назвіть методи ЕШЗ.
- Чи впливає на процес зварювання рід зварювального струму?
- Назвіть основні марки автоматів для ЕШЗ.
- Виберіть трансформатори для ЕШЗ.
- Виберіть випрямлячі для ЕШЗ.
- Виберіть основні марки дроту для ЕШЗ.
- Виберіть основні марки флюсу для ЕШЗ.
- Який пристрій використовують в якості формуючого?
- Назвіть способи контролю зварної ванни.

ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ

12.1. ПЛАЗМОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Особливістю плазмового зварювання є висока температура стовпа дуги (10 000–30 000°С) внаслідок стиснення його струменем газу (аргоном, гелієм, воднем та їх сумішами). В результаті стиснення і великої густини струму матерія 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 стовпа дуги (рис. 12.1 а), і плазма, що співпадає із стовпом дуги (рис. 12.1 б). Відповідно існує два види зварювальних пальників-плазмотронів. У плазмотронах із плазмою, виділеною із стовпа дуги, дуга горить між неплавким вольфрамовим електродом, який є катодом, і охолоджуванним водою соплом. У цьому випадку плазмова дуга є незалежною від виробу, тому що вибір не під'єднано до зварювального кола. У плазмотронах із плазмою, що співпадає із стовпом 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 охолоджуванним водою вольфрамовим електродом і плазмотворюючою насадкою. Тиск дуги і тепла енергія, що вводиться у виріб, залежать від діаметра насадки, кута загострення електрода і встановлення електрода відносно плазмотворюючої насадки. Діаметр насадки залежить від сили зварювального струму (табл. 12.1), напруги на дугі, витрат і складу плазмотворюючого і захисного газів.

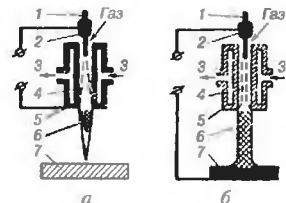


Рис 12.1. Плазмове зварювання:

а — зварювання плазмою, виділеною із стовпа дуги; б — плазма, що співпадає із стовпом дуги; 1 — вольфрамовий електрод; 2 — струмоідемпнівний муфташук; 3 — охолоджене водою; 4 — стовп дуги; 5 — мідне сопло; 6 — плазмовий струмінь (дуга); 7 — основний метал

Таблиця 12.1

Сила струму, А	100	140	170	220	250	300
Діаметр насадки при ручному зварюванні, мм	2	2,5	2,8	3	3,2	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 аварюванням загострюють на конус під кутом 28–30°. Довжина конуса має становити 5–6 діаметрів електрода. Конус притуплюють заокругленням діаметром 0,2–0,5 мм. Електрод установлюють так, щоб його вісь співпадала з віссю плазموутворюючої насадки. Для зварювання використовують плазموутворюючі гази: аргон і його суміші з воднем і гелієм та захисні гази: суміш аргону з 5–8% водню при зварюванні легуваних сталей, міді, нікелю; вуглекислий газ — при зварюванні низьковуглецевих і низьколегуваних сталей.

Кромки деталей перед зварюванням зачищають щітками від бруду, масла на ширину 30 мм і анежирюють розчином. Стики складають без зазорів. Максимальний зазор не повинен перевищувати 1,5 мм. Прихватки виконують покритими електродами, аргон-дуговим або ручним плазмовим зварюванням. Підсилення прихваток видаляють механічним способом. Плазмове зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Перед запалюванням дуги в зону зварювання протягом 5–20 с подають захисний газ. Відстань від плазмотрона до виробу не повинна перевищувати 10 мм. У випадку обриву дуги кратер шва і прилеглу зону (не менше 15 мм) обдувають захисним газом. Дугу збуджують на відстані 10–15 мм від кратера на раніше звареній ділянці 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 плазмове зварювання поділяється на зварювання плазменним і зварювання з наскрізним проплавленням.

Для створення шва необхідної форми плазмове зварювання виконують із присаджувальним металом діаметром не менше 1,5 мм.

У процесі зварювання шальнику і дроту надають колишаних рухів з амплітудою 2–4 мм. При цьому кінці присадки завжди повинні знаходитись у зоні захисного газу. Не можна різко подавати кінці присадки у зварну ванну. Краєр зварюють уведенням краєлі розплавленого металу з одночасним відведенням плазмотрона до природного обриву дуги або її виникання системою керування.

Плазмове зварювання використовують для стикових з'єднань товщиною до 10–15 мм без розчищення кромок. При більшій товщині необхідний V- або U-подібний скіс кромок із кутом розкриття 30° і притупленням 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. Плазмотрони для зварювання тонких матеріалів розраховані на струм до 7 А.

Дугову плазму використовують для зварювання, різання та наплавлення металів. Зварювання може бути ручне, напівавтоматичне й автоматичне.

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 й енергію. Для отримання електронного променя електрони фокусують магнітним полем, створеним спеціальним пристроєм. Сфокусовані у цільний пучок електрони, вдяраючись у зварювані деталі, віддають їм 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^{-4} мм рт. ст.) створюється насосною системою зварювальної установки.

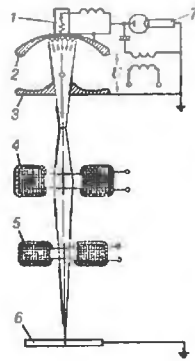


Рис. 12.2. Електронно-променево зварювання:
1 — катодна спіраль; 2 — фокусуюча головка катода;
3 — перший ввід з отвором; 4 — фокусуюча магнітна котушка для регулювання діаметру пучка нагрівання на виробі; 5 — магнітна система відхилення променя;
6 — зварюваний виріб; 7 — високовольтне джерело постійного струму для живлення катода

Електронний промінь можна подавати безперервно або імпульсами. Керування енергією променя виконують за допомогою переривника, який умикаєть 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 біляшовну зону, низькі деформації.

Електронно-променеве зварювання використовують в електронній та атомній промисловості, в літако- й ракетобудуванні. Виконують зварні шестерні, різальні інструменти, відшліфовані будівельні конструкції (балки, колони), вузли парогенераторів і двигунів внутрішнього згорання. Цим способом зварюють титанові (тантал, ніобій, вольфрам, молибден) і легкоокислювані (цирконій, 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, рідинний і напівпровідниковий. Лазерна установка складається з джерела світла високої інтенсивності, вмонтованого всередині камери з рубіновим стрижнем, зокрема з розовим рубіном, який складається з оксиду алюмінію з добавкою хрому до 0,05%. На кінцях рубінового стрижня є паралельні дзеркала. Одне дзеркало має 100%-ну відбивальну здатність, друге – менше 100% із отвором для виходу променя.

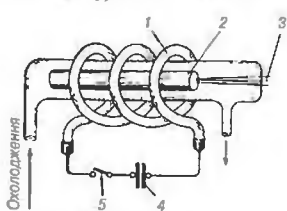


Рис. 12.3. Лазерне зварювання:

1 – газорозрядна лампа із катодної трубки, 2 – рубіновий кристал, 3 – світлова трубка, 4 – високовольтний конденсатор, 5 – вимикач

вимірюється мікросекундами. Хвиля випромінюваного променя може співпадати з падаючою хвилею білого кольору і цим підсилити випромінювання. Таке підсилення за допомогою примусового випромінювання має назву «лазер».

Для охолодження лазерної установки використовують рідкі гази – азот і гелій. Промінь лазера фокусується оптичною лінзою у пляму діаметром від 0,01 до 0,1 мм. Густина теплової енергії не зменшується, незалежно від того, що знаходиться на шляху променя – повітря, інертний газ, скло, вакуум чи інші прозорі речовини.

Перевагою лазерного зварювання є:

– низьке поглинання виробом теплової енергії, завдяки чому зменшується зона термічного впливу;

– висока густина енергії дозволяє з'єднувати різномірні метали;

– шов формується за тисячів 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 ріжуть низьковуглецеві сталі товщиною до 10 мм, легвані сталі до 6 мм, нікелеві сплави до 5 мм, тантал і ніобій товщиною до 3 мм, а також дерево, скло, кераміку, азбест, гуму.

12.4. ТЕРМІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Термітне зварювання – це вид зварювання плавлянням (рис. 12.4). Зварювання цього виду виконують за допомогою терміту – порошкової суміші алюмінію та окислювача. Алюміній в окислювачі згоряє 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, стрижків і валів великого діаметра.

Магнієвий терміт застосовують для зварювання сталевих проводів зв'язку, причому зварювані кінці не оплавляються, а процес зварювання відбувається в пластичному стані при стисненні. При термітному зварюванні використовують спеціальні тигли для спалювання терміту. Термітну суміш підігрівають спеціальними термічними сірниками (магнієвий терміт). Суміш

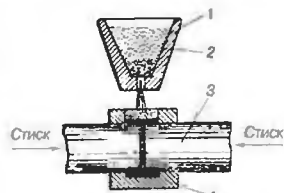


Рис. 12.4. Термітне зварювання:

1 – тигель; 2 – термітна суміш; 3 – кінці рейок; 4 – вогнетривка форма

горить за рахунок кінцею окисини і не потребує кисню повітря. Горіння відбувається рівномірно, без вибухів, температура досягає 3000°C і вище. В тилі від зварювального терміту утворюються розплавлені метал і шлак, які через отвір на дні тигля виділяють у заформоване і попередньо нагріте місце зварювання. Розплавлений метал підігріває кромки металу до розплавлення, а після охолодження утворює шов. Роз'ємну форму знімають, а шлак зачищають. Для збільшення кількості наплавленого металу в шві і додають до 50% сталевий стружки, швахів, а для легування — феросплави. При з'єднанні рейки складають із зазором, а кінці розміщують у роз'ємну вогнетривку форму. Потім з тигля заливають рідкий терміт. Після розігрівання торці рейок стискають спеціальним пресом. У цьому випадку термітне зварювання відноситься до зварювання плавленням із застосуванням тиску.

12.5. КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Контактне зварювання — основний вид зварювання термомеханічного 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 дотику деталей виникає великий електричний опір і виділяється тепло, яке нагріває метал до пластичного стану. Після цього деталі стискаються і виникає пероз'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 дотику деталі швидко нагріваються до зварювальної температури. Потім струм вимикають, а деталі стискають. Цим способом зварюють рейки, труби, стрижки, свердла, ланцюги, різці тощо.

Існує два способи стикового зварювання: зварювання опором, при якому торці деталей нагрівають до еластичного стану, а потім стискають; і зварювання опаленням, коли поверхні торців доводять до стану плавлення, після чого їх стискають. Розрізняють зварювання безперервним і перервним (імпульсним) опаленням, а також опаленням з підігрівом.

Для захисту металу від взаємодії з газами при стиковому зварюванні хімічно активних металів використовують захист інертними газами. Проблемою стикового зварювання є необхідність видащення задирок — металу, який утворюється при стисканні. Їх зачищають вручну або механічним способом відразу після зварювання.

При **точковому** зварюванні листи з'єднують, унаслідок і затискають між мідними електродами, через які пропускають струм від трансформатора. Метал у точці опору глибоко нагрівається внаслідок

підвищення опору при проходженні струму ($0,01\text{--}0,5\text{ с}$). Потім струм вимикають і деталі стискають за допомогою спеціального механізму електродами.

При виготовленні багатьох конструкцій (вагонів, кузовів автомобілів тощо) використовують різні способи точкового зварювання: рельсфне (пресове), автоматичне багатоточкове, однобачне точкове та ін.

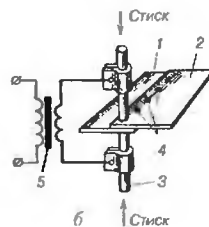
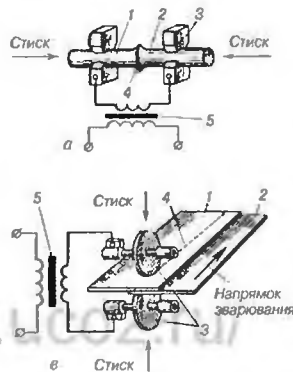


Рис. 12.5. Контактне зварювання:

а — стикове; б — точкове; в — шовне; 1, 2 — зварювані деталі, 3 — мідні електроди, 4 — зварювальний трансформатор

Точкове зварювання проводять на м'яких і жорстких режимах. М'якому режимові характерні відносно мала густина струму ($70\text{--}160\text{ А/мм}^2$), велика тривалість цикла ($0,5\text{--}3\text{ с}$) при порівняно низькому тиску ($15\text{--}40\text{ МПа}$). При жорсткому режимові густина струму становить $160\text{--}360\text{ А/мм}^2$, тривалість зварювання — $0,2\text{--}1,5\text{ с}$ і тиск — до 150 МПа . М'який режим застосовують для зварювання вуглецевих і низьколегированих сталей, а жорсткі — для корозійостійких сталей, алюмінію та мідних сплавів.

Шовне зварювання виконують на шовних зварювальних машинах, де замість стрижкових електродів використовують ролик. При зварюванні листів утворюється суцільний шов. За допомогою дискових роликів надається зусилля до деталей, надається струм і деталі переміщуються.

Використовують такі способи шовного зварювання: безперервне, перервне з безперервним обертанням роликів, перервне з періодичним обертанням роликів. Шовне зварювання використовують при виготовленні емкостей з товщиною стінки $0,3\text{--}3\text{ мм}$, де необхідна герметичність швів.

Недоліком контактного зварювання є значна короткочасна потужність, яка споживається від змійливої мережі в момент зварювання. Для накопичення запасної енергії використовують такі способи: електростатичний, або конденсаторний, електромагнітний, інерційний та акумуляторний.

Контактне зварювання виконують спеціальними машинами, що складаються із зварювального трансформатора, нереривника зварювального струму, регулятора струму першого кола трансформатора, струмоіндикаторних пристроїв, а також механізмів для створення необхідного тиску для стикування деталей.

12.6. ДИФУЗИЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Дифузійне зварювання вперше було запропоноване і практично розроблене П. Ф. Козаковим. Зварювання проходить завдяки взаємній дифузії твердих частинок металів при дотику їх поверхонь після стикування. 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 кріплення зварюваних деталей 2 і мольбденовий 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 проводять у вакуумі при залишковому тиску 10^{-3} – 10^{-5} мм рт. ст. під камерою 1 або в контрольованому середовищі водню, аргону, гелію або вуглекислого газу, якими заповнюють

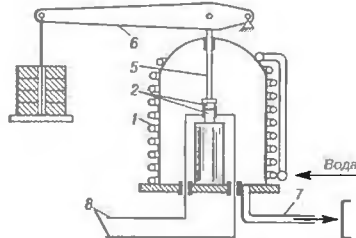


Рис. 12.6.
Дифузійне зварювання:

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, вільний кисень, який 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 точінням, 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 у часу зварювання міцність з'єднання зростає. Надто великий час витримування знижує 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 мольбденом, вольфрамом, ренієм; сталь з чавуном, алюмінієм, вольфрамом, титаном, металокерамікою, графітом, склою, цирконій в латунію 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 стиків за допомогою обертової 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 опалення і при стикуванні зварюються. Рідкий метал і шкати витіснюються назовні, утворюючи високоякісне зварне з'єднання. Зварювання виконують постійним струмом.

Існують два види зварювання обертовою дугою. В першому випадку (рис. 12.7 а) дуга збуджується між торцями кромок труб і під час їх оплавлення труби стискаються. У другому випадку (рис. 12.7 б) дуга горить між стійками труб і внутрішньою поверхнею мідного сопла, що охолоджується водою. При цьому складання без зазорів стискання труб не виконують. Цей спосіб використовують для зварювання неповоротних стійків труб.

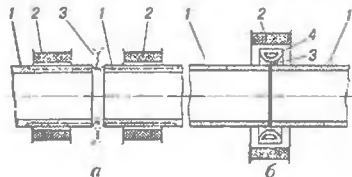


Рис. 12.7 Зварювання обертовою дугою:

а — дуга, що горить між торцями кромок, б — дуга, що горить між кромками і мідним соплом; 1 — мідні труби; 2 — сопла електромашини; 3 — зварювальна дуга; 4 — мідне сопло

12.8. ІНДУКЦІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Цим способом зварюють позовонкі шви труб (рис. 12.8) у процесі їх виготовлення на прокатних станах і наплавляють твердий сплавом ріжучі 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 обтискних роликах, безперервно нагріваються високочастотним індуктором до зварювальної температури, а потім стискаються. При цьому вони зварюються, утворюючи шві.

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 середньовуглецевої 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 шунтування зварювального струму через стінку в осередку вводять феритний сердечник.

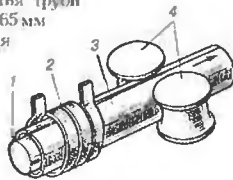


Рис. 12.8. Індукційне зварювання:

1 — феритний сердечник; 2 — висококачествий індуктор; 3 — заготовна труба; 4 — обтискні ролики

12.9. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

Зварювання тертям — це один із видів зварювання плавленням. Цей спосіб зварювання був запропонований в 1956 р. дослідником А. І. Чудіковим. Зварювання тертям (рис. 12.9) полягає в тому, що внаслідок тертя торця однієї із зварюваних стрижнів об торць іншого місце з'єднання нагрівається до еластичного стану. При застосуванні осьового зусилля стрижні стискаються і з'єднуються. Торці деталей при терті нагріваються до температури близько 1 200°С (при зварюванні сталі). Крім нагрівання сили тертя рубляють поверхню шлівки 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 обертается. 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, різців, розверток), деталей із різних матеріалів (алюмінію із сталюми та ін.), а також різних деталей круглого перерізу із сталі, чавуну, латуні, міді та алюмінію.

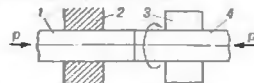


Рис. 12.9. Зварювання тертям:

1 — неруходий стрижень; 2 — нерухома деталь; 3 — обертаний торцевий верстат; 4 — обертаний 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 контакту з'єднаних частин при великому тиску гуансион 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 (алюміній з міддю або свинцем, мідь з нікелем, латунню, нержавіючими сталюми та ін.).

Холодне зварювання широко використовується в електротехнічній промисловості для з'єднання проводів і шин, амування контактних з'єднань спеціальними кліщами.

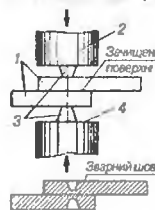


Рис. 12.10. Холодне зварювання:

1 — зварювані деталі; 2 — пуансон; 3 — робоча частина пуансона; 4 — опорні поверхні пуансона

12.11. ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ

Зварювання вибухом — вид зварювання тиском, який здійснюється під дією вибуху (рис. 12.11). Основною цілю способу зварювання є вплив направленого короткочасного надвисокого тиску на зварювані деталі. Одна із зварюваних деталей (пластина) володається на жорстку основу, а інша — під кутом 2–7° до всі 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 одарється в нижню. В момент вибуху між деталями створюється велика стислююча сила і направлений струмінь повітря, який очищає поверхню листових деталей. У зоні дотику метал з'єднуваних пластин тече подібно рідині і зливається в одне ціле, утворюючи монолітне зварне з'єднання. Зона з'єднання досягає 0,3–0,4 мм.

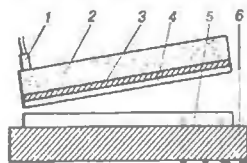


Рис. 12.11.
Зварювання вибухом.

1 — детонатор; 2 — вибухова речовина;
3 — шар гуми; 4, 5 — зварювані деталі;
6 — основа

12.12. УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ультразвукове зварювання (рис. 12.12) подібне зварюванню тертям. Пероз'єміне з'єднання утворюється при спільній дії на зварювані деталі механічних коливань високої (ультразвукової) частоти і відносно невеликих стискаючих зусиль.

Сили тертя виникають при впливі на зварювані частини осьюою силою заготовки механічних коливань ультразвукової частоти (20–30 кГц). Такі коливання утворюються в спеціальних генераторах потужністю 3–10 кВт і магнітострижників¹ перетворювачах. Коливання й тиск передаються зварюваним деталям через спеціальний пристрій. Коливання викликають зсув частин металу, руйнування

¹ *Магнітострижники* — зміна розмірів тіла при намагнічуванні.

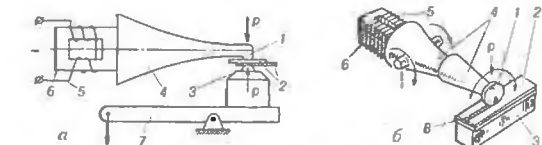


Рис. 12.12. Ультразвукове зварювання.

а — точкове; б — шовне; 1 — верхній електрод; 2 — зварювані деталі; 3 — нікель-електрод; 4 — хвилювд; 5 — обмотка струму високої частоти; 6 — вибратор; 7 — механізм передачі зусиль стиску; 8 — зварний шов, Р — зусиль стиску

плівки і розігрівання зварюваних поверхнь, 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 періодична зміна розмірів, при цьому частота пружних коливань рівна подвійній частоті струму. Амплітуда коливань на кінці хвилюводу на холостому ході становить 20–40 мкм.

У результаті ультразвукових коливань у тонких шарах поверхнь деталей створюються деформації зсуву, які руйнують поверхневі плівки. При цьому утворюються вузли зчеплення, поверхневі шари нагріваються і під дією стискаючого зусилля пластично деформуються. Зварювані поверхні наближаються до відстані дії міжatomних сил і виникає міцне зварне з'єднання.

Перевагами ультразвукового зварювання є:

- незначний тепловий вплив на зварювані деталі, який забезпечує мінімальну зміну їх структури;
- зстосування невеликих стискаючих зусиль (0,1–2,5 кН) призводить до виникнення малих ум'ятин (5–10%);
- зварювання в твердому стані без суттєвого нагрівання деталей;
- можливість зварювання дуже тонких деталей;
- низька потужність зварювального обладнання й простота конструкції.

Недолками 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 термопластики, поліетиленових плівок, скла товщиною 0,05–0,5 мм.

12.13. ІМПУЛЬСНО-МАГНІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Імпульсно-магнітне зварювання широко використовується з 1955 р. При цьому зварюванні спінударення зварюваних деталей забезпечується імпульсним магнітним полем від розряду батареї конденсаторів. Зварювальний процес проходить миттєво — за 0,01 с. Зона термічного впливу в стиковому з'єднанні досягає 0,01 мм. Зварювання виконують тиском на спеціальних машинах. Після початку зварювання тиск верхнього електрода під впливом імпульсного магнітного поля. Завдяки цьому подача верхнього електрода прискорюється настільки, що набирає ударного характеру. Тривалість імпульсу й швидкість спінударення 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'єднань	Товщина зварюваного металу, мм	Просторове положення шва	Діаметр електродного дроту, мм	Середній струм, А	Параметри імпульсів				
					Швидкість подачі електрода, м/год	Напруга на дугу, В	випітуй, А	тривалість, мс	частота, с ⁻¹
Стикові	3	Нижнє	1,6	140-160	150-170	18-20	360-380		
Кутові	4-5	Вертикальні	1,6	180-200	180-190	21-23	340-400	3,0	50
Внапуск	1-6	Нижнє	1,6	220-230	250	25-27	420-430		

Закінчення таблиці 12.3

Тип з'єднань	Товщина зварюваного металу, мм	Просторове положення шва	Діаметр електродного дроту, мм	Середній струм, А	Швидкість подачі електрода, м/год	Напруга на дугу, В	Параметри імпульсів		
							випітуй, А	тривалість, мс	частота, с ⁻¹
Кутові	3-4	Нижні	1,6	220-260	190-200	23-25	550-600	4,5-5,0	100
Стикові	3-4		1,6	220-240	190-195	23-25	550-600	4,5-5,0	100
Кутові, внапуск	5-6		1,6	250-310	225-240	25-27	650-700	5,0	100
Стикові, кутові, внапуск	8-10		1,6-2,0	280-290	240	26-32	650-800	5,0	100
Кутові	4-6	Вертикальне зверху вниз	1,6	230-270	195-230	24-25	600-650	5,0	100
	4-5	Степільне	1,6	200-220	180-190	23-24	550-600	4,5-5,0	100

Низьковуглецева сталь, електродний дріт марки Св-08Г2С (в суміші 20% Аі і 80% С0₂)

Низьковуглецева сталь, електродний дріт марки Св-08Г2С, окислюваче покриття поверхні дроту — водний розчин суміші 7,3% Сs₂С0₃ і 1,2% Na₂С0₃ (у вуглекислому газі, поліарктия пружа)

Низьковуглецева сталь, електродний дріт марки Св-08Г2С, окислюваче покриття поверхні дроту — водний розчин суміші 7,3% Сs₂С0₃ і 1,2% Na₂С0₃ (у вуглекислому газі, поліарктия пружа)

Кутові	3-4	Нижні	1,6	220-260	190-200	23-25	550-600	4,5-5,0	100
Стикові	3-4		1,6	220-240	190-195	23-25	550-600	4,5-5,0	100
Кутові, внапуск	5-6		1,6	250-310	225-240	25-27	650-700	5,0	100
Стикові, кутові, внапуск	8-10		1,6-2,0	280-290	240	26-32	650-800	5,0	100
Кутові	4-6	Вертикальне зверху вниз	1,6	230-270	195-230	24-25	600-650	5,0	100
	4-5	Степільне	1,6	200-220	180-190	23-24	550-600	4,5-5,0	100

Примітка. Зварювання металів з товщиною понад 4 мм з V-подібним розщинням кромок за ГОСТом 14771-76.

Схема АМв, електродний дріт марки Св-АМв (в арсіні)

Стикові	4	Нижнє	1,6	70-80	130-140	18-19	500	1,2	100
4	Вертикальне	1,6	70-80	130-140	18-19	500	1,2	50	
4	Степільне	1,6	70-80	130-140	18-19	400	2,0	50	
4	Нижнє	1,6	120	200-220	19-20	550	1,2	100	
4	Вертикальне	1,6	120	200-220	19-20	480	1,2	50	
4	Степільне	1,6	120	200-220	19-20	380	2,0	50	
6	Нижнє	2,0	140	170-180	19-20	550	1,2	100	
6	Вертикальне	2,0	140	170-180	19-20	360	2,0	50	
10	Нижнє	2,0	160-180	250	20-22	650	1,2-2,0	100	
10	Степільне	2,0	160-180	250	20-22	600	1,2	100	
Тавроці	4	Вертикальне	1,6	80-90	140-150	20-22	500	1,2	50
4	Степільне	1,6	80-90	140-150	20-22	400	2,0	50	
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	Степільне	1,6	140-160	230-250	22-23	500	1,2	100	
6	Степільне	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	

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 соєдуса (1400-1450°С), при проковуванні зварюваних деталей, накладених одну на одну.

Першим технологічним процесом в історії техніки, за допомогою якого люди могли одержати пероземні 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 зваряддя праці, зброю. Особливо широко використання має художня обробка металів, де ковальське зварювання займає провідне місце при виготовленні декоративних решіток, огорожі, навісів, підставок тощо.

12.15. ВОДНЕВО-КИСНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ковальським зварюванням виготовляють вироби з чергуючим в певній послідовності шарами твердої та м'якої сталі, які мають самозастійовальні властивості. Колись ковалі виготовляли мечі з вперуноквої 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 композита за принципом дамаска зводиться до процесу з'єднання сталевих деталей з різним вмістом вуглецю ковальським зварюванням. Ця технологія межує з мистецтвом. Зяювники сучасної булатної технології (булат — різновидність східної сталі) П. П. Аносов і В. І. Басов відмітили, що коваль вкладає в роботу свою енергію та індивідуальні настрої.

Деталі під зварювання нагріваються в горні на кам'яному й деревинному 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 торцях пакет деталей прихвачують дуговим зварюванням. Пакет установлюють у печі так, щоб нагрівання проходило рівномірно. Для цього пакет в печі повертають, інколи вимикаючи дуття. 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 посилюють кварцевим піском (флюсом). Коли пісок прилигне до поверхні, деталь знову повертають і покривають флюсом інший бік.

При температурі 1 230–1 250°C флюс починає плавитися, а деталь — «пінити». В цей момент її необхідно крутити. При цьому температура досягає 1 300–1 400°C і вирівнюється за всієї довжиною поковки. Важливо її прогріти так, щоб білий колір поверхні був чистим, без темних плям. Потім пакет витягують з горна і легкими ударами проконують, повертаючи на 180°. Процес зварювання проходить доти, доки поверхня пакета буде «мокрою». При поганому зварюванні, з'являється здуття і розшарування. При цьому зварювання необхідно повторити.

Якість зварювання перевіряють за такими способами:

- торці деталі зачищають на тошії і виявляють тріщини (по верхню має бути суцільною, без тріщин);
- швидко охолоджують і знову нагрівають деталь — при неспрорах з'являються бульки.

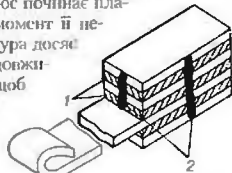


Рис. 12.13. Ковальське зварювання:

1 — інструментальна сталь,

2 — зварій прихватки.

В Україні в 1992 р. освоєно виробництво газозварювальних установок, в яких використаний принцип одержання воднево-кисневої газової суміші електролітичним розкладанням дистильованої води. Установки «Ефект 80», «Тріумф 300», «Тріумф» ЕВІ-600 призначені для газового зварювання й паяння чорних, кольорових металів та їх сплавів, для газополум'яної обробки (гартування, відпалу, очищення, нанесення склоемалей та ін.), зварювання кварцевого скла.

До комплексу установок входять зварювальний паяльник ГС-2, комплект муфтшпугів, шланги з шпильками довжиною 6 м, луг NaOH для первинної заправки і запасні частини.

Перед запуском установок виготовляють і заливвають у бак 4 л електроліту, у гідрозатор — 4 л води, в барботер — 0,4 л бензину. При вмиканні через 5–10 хв установка виходить на робочий режим. При витраті дистильованої води і бензину доливають до рівня, вказаного на індикаторі.

Температуру полум'я регулюють шляхом збагачення суміші вуглеводними 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, заповнянні ампул для медичних препаратів тощо.

Технічна характеристика установки:

- напруга живильної 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; пруток до 12 мм;
- габаритні розміри 560×302×495 мм;
- маса (без заправки) 50 кг

12.16. ЗВАРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАКЛЕПКАМИ

Зварювання електрозаклепками використовують для з'єднання тонких листів із рамами з профільного прокату, для приварювання шнурів тощо. Цей спосіб зварювання характеризується високою продуктивністю і зручністю при складанні крупногабаритних конструкцій.

Електрозаклепками налявають точкові шви, виконавши зварювальною дугою плавким або неплавким електродом (рис. 12.14).

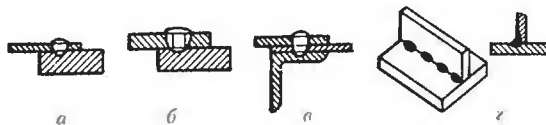


Рис. 12.14. З'єднання електрозаклепками:

а — без отворів у верхньому листі; б — з поперечно просвердленим отвором; в — зварювання двох листів з профільним елементом; г — кутове з'єднання

Зварювання електрозаклепками виконують у захисних газах, під шаром флюсу та відкритою дугою. Встановлені такі умовні позначення способів зварювання електрозаклепками:

- ЭУЗ — у вуглекислому газі з початкою електрода (при товщині верхнього листа від 0,8 до 22 мм);
- ЭПлЗ — в аргоні плавким електродом (при товщині верхнього листа від 0,8 до 22 мм);
- ЭПшЗ — в аргоні несплавним 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 поперечно просвердлюють або проколюють.

При зварюванні плавким електродом під шаром флюсу можливе проплавлення верхнього листа товщиною до 12 мм без поперечного 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 несплавним електродом дає можливість одержати шви без відселення і з більшою глибиною проплавлення металу. Листи товщиною 6 мм і більше зварюють графитовим електродом постійним струмом 400–700 А.

Після короткого замикання електрода 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 електрода. В міру розплавлення електрода, довжина дуги збільшується до її природного обриву, що автоматично припиняє процес зварювання. Утворений шлак легко відокремлюється від головки електрозаклепки.

Для заповнення рідким металом поперечно просвердлених або пробитих отворів електрод подають у зону горіння дуги. Потім подача електрода припиняється, а дуга продовжує горіти до природного обриву. Режим зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі наведені в табл. 12.4.

Таблиця 12.4

Режими зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі в проплавленням верхнього елемента

Товщина металу, мм		Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напряг 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 шлангові напівавтомати для зварювання під флюсом, у захисних газах або спеціальні електрозаклепальники 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. Розрізняють 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 дуги і глибокочому проплавленню металу. В свою чергу електрична дуга покращує термічний цикл лазерного зварювання, зменшує німірність утворення крихких загартованих структур у шві та зоні термічного впливу, зменшує частку дорогої лазерної потужності.

Для швидкісного зварювання тонких металів використовують комбінацію лазерного випромінювання з дугою нешлякового електроду (рис. 12.15). При зварюванні товстих металів можливе зварювання кореневого шва лазерним випромінюванням з одночасним заповненням розщеплених кромок металом плавкого електроду (рис. 12.16).

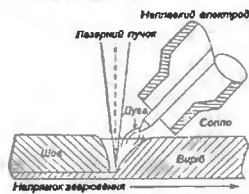


Рис. 12.15. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з нешляковим електродом

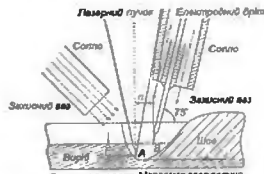


Рис. 12.16. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з плавким електродом

А1Б — точки фокусів лазерного променя в дугі; а, F — відстані між точками фокусів

Суміщена дія лазерного випромінювання і дуги плавкого 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-дуговим зварюванням наближається до геометрії її 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 попереднім свердлінням ізенкуванням отворів у верхньому листі, діаметр яких перевищує діаметр електроду не менше ніж на 3–8 мм.

Технологічним є використання комбінованого точкового зварювання, яке передбачає наскрізне проплавлення листів із використанням плазмотрона та наступне зварювання отриманих отворів дугою з плавким електродом. Живлення плазмового й дугового розрядів здійснюють від окремих джерел живлення. Тривалість впливу плазми та дуги знаходиться в межах 3–10 с. Конкретну величину імпульсів струму й час зварювання вибирають залежно від товщини зварюваних металів.

Якщо плазмовий струмінь і зварювальна дуга плавким електродом діють в одну точку зварної ванни, то виникає ібридний процес плазмово-дугового зварювання. При комбінованому процесі плазмовий струмінь і дуга знаходяться на відстані та створюють єдиний термічний цикл нагрівання.

Розміри отворів при плазмовому проплавленні отворів значною мірою залежать від витрат плазмостворюючого 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 плазмостворюючого газу збільшується діаметр отвору і глибина проплавлення.

Точкові з'єднання, отримані комбінованим плазмово-дуговим зварюванням, характеризуються стабільною глибиною проплавлення деталей, відсутністю пор і тріщин, рівномірністю формування швів. Цю технологію зварювання використовують замість клепання й дугового зварювання перериваними швами плавкими та нешляковими 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 абдується електрична дуга й утворюється зварна ванна. Через декілька секунд, шпилька під впливом стисненої пружини швидко опускається вниз, утискується у зварну ванну, а зварювальний струм виникає. 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.

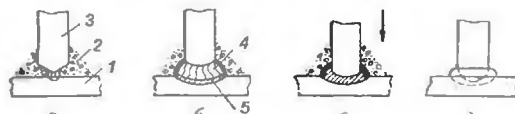


Рис. 12.17. Послідовність операцій при приварюванні шпильок і стрижнів під флюсом

а — абдування дуги, б — утворення зварної ванни; в — відсування шпильки у зварну ванну, г — зварне з'єднання; 1 — деталь; 2 — флюс; 3 — шпилька або стрижень; 4 — електрична дуга; 5 — зварна ванна

У нижньому положенні шпильки приварюються під флюсом; у вертикальному й шпелювому положеннях для утримування розплавленого металу та примусового формування шва використовую-

ються спеціальні флюсові або фарфорові кільця. Флюсові кільця виготовляють із звичайних флюсів марок АП-348 А, ОСЦ-45, ФЦ-9 та ін. Фарфорові кільця виготовляють із кварцевого піску, глини, каоліну та інших речовин. Для зв'язування використовують рідке скло, машинне або смоляне мастило.

Цім 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 поліпшення запалювання дуги кінець шпильки заточують на конус із кутом при вершині 90–120°.

Для приварювання шпильок і стрижнів використовують спеціальні пістолети 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. Хринов (1932).

Зварювання під водою виконують плавкими штучними електродами, порошковим дротом і неіспланним електродом. Для дугового підводного зварювання використовують електроди з товстим покриттям і гідроскопичною ізоляцією. Стрижень виготовляють з низьковуглецевої сталі; до складу покриття входять оксид титану, заліза, руда, польовий шпат, феротитан, феромарганець, крохмаль і рідке скло. Гідроізоляцію здійснюють парафіном, розчином целюлози 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 те, що утворюється через заціпення плавлення електродного покриття порівняно з плавленням стрижня. Вона сприяє абсорбції газової порожнини, в якій горить дуга.

При зварюванні проходить поглинання теплоти дуги і зниження термoeлектронної емісії, що затруднює запалювання дуги. Тому необхідно використовувати джерела живлення дуги змінного її постійного струму з більш високою напругою холостого ходу (70–85 В). Сила зварювального струму вибирається на 10–25% вищою, 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 людини організму у володажному спорядженні. При збільшенні глибини тиск води на газову порожнину і стовп дуги зростає, що

сприяє підвищенню глибини пропалвлення металу. Шви, виконані штучними електродами, мають пористість, низьку пластичність і в'язкість через негативний вплив води. При зварюванні порошковим дротом щільність і міцність шва відповідає вимогам відповідальних виробів. Через тяжкі умови роботи при підводному зварюванні виникають дефекти: пропуски, зміщення осі шва, нерозплавлення однієї із кромок.

Для зварювання під водою використовують спеціальні електродотримачі з детально ізолюваною поверхнею. Перед роботою аварник повинен уважно перевірити подолання спорядження. Передній ілюмінатор володазного шолома 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 і джерела живлення і рубильник для вимикання аварювальної установки від електромережі. Найперспективнішими видами підводного зварювання є дугове напівавтоматичне, плазмо-дугове і електронно-промисле.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть особливості плазмового зварювання.
2. Де застосовується дифузійне зварювання?
3. Як порівняти електроно-променевого зварювання порівняно з дуговим?
4. Розкажіть про використання лазерного променя у зварювальному виробництві.
5. Як є види контактного зварювання?
6. Вкажіть особливості дуги вого зварювання під водою.
7. Розкажіть про суть зварювання тертям і області його використання.
8. Охарактеризуйте основні процеси зварювання плавленням.

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

13.1. ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Продуктивність праці зварників 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 сталей на робочому місці;
- поділ окремих операцій на переходи й 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 заварювання дефектів лиття і заповнення розчищених кромок великої товщини.

Коефіцієнт наплавлення підвищують, використовуючи електроди з вмістом залізного порошку в покритті. Зменшення площі поперечного перерізу наплавленого металу досягають за рахунок

підповідного розчищення кромок, використовуючи двобічний стік кромок замість однібочного. Зменшення площі перерізу наплавленого металу за рахунок збільшення глибини й площі проплавлення досягають зварюванням методом опирання.

13.2. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Для підвищення продуктивності зварювання покритими електродами застосовують високопродуктивні 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 високопродуктивними електродами шов 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 вмісті 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 високопродуктивних електродів є виконання зварювання тільки в нижньому й поздовжньому (від куту 15–20°) положеннях. Держати живлення для зварювання високопродуктивними електродами повинні мати підвищену напругу холостого ходу (не менше 65 В). Високопродуктивні електроди використовують для зварювання відповідальних конструкцій із низькоуглецевих і низьколегованих 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 куткових швів у положенні «в човник» і стикових з'єднань. Для цього використовують електроди особливо товстим покриттям. Стрижень електрода плавиться швидше за покриття і на кінці електрода з покриття утворюється втулка (дашок). Опираючи козирок електрода на поверхню виробу, зварник переміщує дугу вздовж шва. При плавленні покриття утворюється газ, які відтискають рідкий метал, утворюючи валик. 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 кромки, зварювати метал великої товщини без розчищення кромки, збільшити швидкість зварювання.

Після запалювання дуги зварник устанавлює електрод під кутом $70-80^\circ$ до площини виробу внапрямок його руху. Силу зварювального струму збільшують на $20-40\%$ і визначають за формулою $I_{zw} = (60 + 70) d_e$. Збільшена потужність дуги, концентроване введення тепла, швидке переміщення електрода під кутом та інтенсивне випікання розплавленого металу зварної ванни тиском дуги створюють умови для глибокого провару й розбрикування.

Патискаючи на електрод, зварник переміщує його вздовж шва, опираючись 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 впіранням стикових з'єднань без скосу кромки електродами ОЗС-3 наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Режими зварювання впіранням стикових з'єднань без скосу кромки електродами ОЗС-3

Товщина металу, мм	Рекомендований ззор, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Глибина пропалвлення, мм
<i>Однобічне зварювання</i>				
4	1,0	5	200	4
6	1,5	6	250	6
8	2,0	6	350	8
<i>Двобічне 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 кутових 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 УОНИН-13/55 діаметром 5 мм.

При зварюванні впіранням електрода 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 пересходить з одного стрижня на інший, почергово оплавляючи їх. Електроди розташовують так, щоб загальна пісь спіпадала з віссю шва, а при великому куті розчищення кромки була перпендикулярною до осі. Силу зварювального струму вибирають від 100-180 А при діаметрі електродів 3+3 мм до 300-400 А при діаметрі 6+6 мм.

Продуктивність зварювання підвищується за рахунок почергового 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 розташувати по декілька стрижнів у ряд у вигляді гребінки (рис. 13.1 б). Електроди прихвачують до спеціальної пластини (гребінки), яку встановлюють в одноручковій електродотримач з рукояткою, висесеною з бок від корпусу і зварювального кабелю.

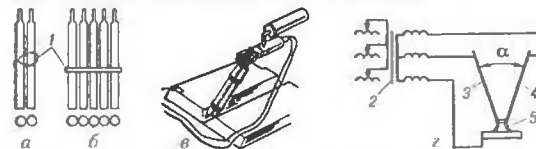


Рис. 13.1 Зварювання спареним електродом, гребінкою електродів і трифазною дугою:

а — схема спареного електрода; б — схема гребінки; в — зовнішній вигляд зварювання спареним електродом; г — електрична схема зварювання трифазною дугою; 1 — загальна електродотримач; 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 пересходить на другий стрижень і т. д. Розташовуючи електродну гребінку вздовж шва, можна глибоко проникати в розчищені кромки й

проплавити основний метал на велику глибину та одержувати кріпке формування шва. При цьому продуктивність зварювання підвищується у 2 рази порівняно із зварюванням звичайним електродом.

Зварювання гребінкою електродів використовують і при ванно-дуговому зварюванні в спеціальних мідних, графітових або сталевих формах, які запобігають витіканню розплавленого металу й формують шов.

13.4.3. Зварювання трифазною дугою

Продуктивність ручного дугового зварювання можна значно підвищити, використовуючи трифазний струм. Для зварювання трифазною дугою (рис. 13.1 а, з) використовують два електроди, до яких підводять дві фази від джерела живлення, а третю фазу — до зварюваного 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 дугою.

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 спеціальні 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 укладають 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.

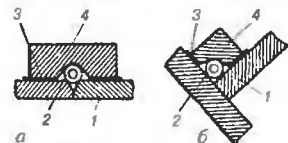


Рис. 13.2. Схема зварювання лежачим електродом:

1 — зварюваний метал; 2 — лежачий електрод; 3 — паперова ізоляція; 4 — мідна колодка

Кутіві шви зварюють без підкладки. Зверху електроди притискають до крамок деталей мідною або бронзовою колодкою. Дугу збуджують допоміжним електродом, яка продовжуючи горіти, розплавляє електрод та основний метал. Довжина дуги дорівнює товщині покриття електрода й становить 1,5–3 мм.

Зварювання лежачим електродом можна виконувати під шаром флюсу. При цьому зварюють не тільки прямолінійні, але й криволінійні шви. Продуктивність зварювання зростає за рахунок того, що один зварник може працювати на декількох постах.

Зварювання похилим електродом полягає в тому, що подовжені покритті електроди краєм покриття опирають у зварюваний метал і направляють по ньому за допомогою спеціального пристосування (рис. 13.3). Пристосування можуть установлюватися біля зварюваного металу або безпосередньо на ньому за допомогою постійного магніту або іншого кріплення. Електрод кріпиться в електродотримачі, з'єднаному з кареткою, яка вільно опускається під власною масою в міру згоріння 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 вмикаючий пристрій і дуга розривається.

Особливістю електродів є утворення при зварюванні на його кінці козирка з покриття. Цим козирком електрод упирається на зварюваний ширібі, підтримуючи постійною довжину дуги. Постійність розташування козирка (даних) в процесі зварювання забезпечується нанесенням покриття з високою концентрічністю. З метою збільшення часу плавлення електроди виготовляють довжиною від 450 до 900 мм, діаметром 4; 5 і 6 мм. Для забезпечення легкого збудження дуги на кінець електродів наносять іонізуюче покриття, а для полегшення нахилу в місцях стикування швів використовують електроди із зашліфованим на кінцях стрижнем. Для цього способу зварювання розроблені електроди марок ОЗС-12, ОЗС-15Н і ОЗС-17Н.

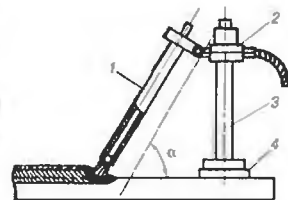


Рис. 13.3. Схема зварювання похилим електродом:

1 — електрод; 2 — обойма; 3 — шланг; 4 — ізолююча підкладка; α — кут нахилу електрода

Техніка зварювання порівняно проста та не потребує великих витрат і тривалого навчання. Зварник може одночасно обслуговувати 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.

ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ І ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

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 залишкові деформації, змінювати процес кристалізації металу.

Пульсуючий дуговий розряд дає можливість підібрати такий режим зварювання, який зменшує стискання 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. Якій можливості підвищення продуктивності ручного дугового зварювання?
2. Вкажіть особливості зварювання високородуктивними електродом.
3. Як виконують зварювання з глибоким пропаленням (опиранням)?
4. Назвіть особливості зварювання шареним електродом.
5. Як підвищують продуктивність зварювання, використовуючи трифазний струм?
6. Як виконують зварювання лежачим і похилим електродом?
7. Поясніть особливості зварювання пульсуючою дугою.

14.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ

Стаями 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, кремій, 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, Ст3пс, Ст3сп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5пс, Ст6пс, Ст6сп.

Цифри в позначках марок означають порядковий номер, індекси 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 листова, сортова (кругла, квадратна та ін.), фасонна (кутник, тавр, 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 двозначними цифрами, що означають вміст вуглецю в сотих частках відсотка:

- низьковуглецеві: 05,05кп, 08,08кп, 10пс, ...25;
- середньовуглецеві: 30, ...55, 58 (55пп);
- високовуглецеві: 60, ...85.

При підвищеному вмісті марганцю в позначення вносять 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:

В — вольфрам;	Д — мідь;
М — молібден;	Г — марганець;
К — кобальт;	Ф — ванадій;
Т — титан;	Ю — алюміній;
Ш — магній;	А — азот;
Р — бор;	П — фосфор;
	Ц — цирконій.

Залежно від марки сталей торці фарбують у такій колір:

червоний і зелений	— Ст0, ВСт0, Ст1;
білий і чорний	— БСт1, Ст2, БСт2;
жовтий	— ВСт2, Ст3, БСт3, ВСт3;
червоний	— Ст4, БСт4;
чорний	— ВСт4, Ст5, БСт5;
сірий	— ВСт5, 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	— хроменієві;
коричневий і сірий	— марганцеві;
жовтий і чорний	— хромонікелеві;
зелений і фіолетовий	— хромомолібденові;
алюмінієвий і червоний	— високолеговані хромонікелеві;
алюмінієвий і сірий	— 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.

Одержаній 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 ($C_{екв} = 0,25 \div 0,35\%$);
- обмежено зварювані сталі ($C_{екв} = 0,35 \div 0,45\%$);
- 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	Ст1кп, Ст1кпс, Ст2кп, Ст2кпс, Ст3, Ст4, 08, 10, 15, 20, 25	15ХА, 20Х, 15ХМ, 20Х1СА, 15Х, 15НМ, 10ХСНД	08Х20Н14С2, 08Х23Н18, 03Х18Н11, 08Х18Н10
Задовільна	БСт5сп, 30, 35	12Х2Н4А, 12ХН2, 20ХГСА, 30Х, 15ХСНД, 25ХГСА	09Х14А, 12Х14А, 30Х13, 12Х17, 25Х13Н2
Обмежена	Ст6кп, Ст6кпс, БСт6кп, 40, 45, 50	35ХМ, 30ХГСА, 40Х, 40ХМФА, 40ХН, 20Х2Н14А	12Х18Н9, 17Х18Н9Т, 20Х18Н9, 20Х23Н18, 36Х18Н12С2
Погана	65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7-У13, У7А-У13А	50ХГ, 50ХГСА, 60ХС, 45ХН3МФА	Х12, Х12М, 9ХС, 5ХГМ, ХВГ, 5ХНТ, Х

Добра зварюваність низьковуглецевих сталей характеризується міцним зварним з'єднанням в основному металом без зниження пластичності в більшовій зоні і без тріщин у металі шва.

Зварюваність легованих сталей оцінюється можливістю одержання з'єднань, стійких проти утворення гартованих структур (і тріщин), зменшенням міцності, корозією та ін.

Однорідні метали легко зварюються, а різномірні — погано. За пластичністю 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 походить 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 гартовані структури, що призводять до тріщин. Підвищений вміст вуглецю в присадковальному 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 загартованості сталі.

Кремій (С) у межах від 0,02 до 0,35% трудновуглець при зварюванні не викликає. При вмісті від 0,8 до 1,5% зварювання утруднюється через високу рілкотскучість й утворення тугоплавких оксидів кремнію.

Ванадій (Ф) сприяє загартованості сталі, що утруднює зварювання. При зварюванні ванадій активно окиснюється і вигоряє.

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 вигоряє.

Хром (Х) утруднює зварювання, оскільки утворює тугоплавкі карбіди хрому.

Титан (Т) і ніобій (Б) при зварюванні з'єднуються з вуглицем і припинають утворення карбіду хрому. При цьому зварюваність погіршується.

Мідь (Д) покращує зварюваність, підвищує міцність, пластичність і корозійну стійкість 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 планівенням. Низьковуглецеві сталі зварюються без обмежень при використанні типових зварювальних матеріалів (див. розділ 6).

Для забезпечення стійкості швів проти утворення тріщин і збереження високої пластичності металу шва, зварювальні матеріали повинні містити менше вуглецю, ніж основний метал, що компенсується додатковим легуванням шва кремнієм і марганцем. Механічні властивості металу більшової зони порівняно з основним металом можуть відрізнятись через незначне змінення металу в зоні перегріву. При зварюванні киплячих і напівспокоїх (старіючих) сталей на ділянці рекристалізації більшової зони можливе зниження ударної в'язкості. Метал більшової зони багатопарових швів крихкий від металу однопарових.

Зварювання низьковуглецевих сталей виконується без попереднього підгріву і наступної термообробки. При зварюванні низьковуглецевих сталей з верхньою межею вмісту вуглецю (0,27%) можуть виникати кристалізаційні тріщини в кутових швах, одиобічних швах з повним проваром кромок, першому шарі багатопарових стикових швів. У таких випадках використовують попередній підгрів до 100–150°C, особливо при виконанні перших шарів на товстому металі (більше 15 мм) і температурі повітря нижче мінус 5°C. Необхідність попереднього підгріву і можливої

Режими механізованого зварювання сталей

у вуглекислому газі стикових з'єднань без скосу кромок

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, 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. Виліт 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 дузі, В	Швидкість зварювання, м/год
<i>V-подібне розчищення кромок</i>			
18–26	260–300 380–400	28–30 30–32	16–20 18–22
18–26	420–440	30–32	16–22
<i>X-подібне розчищення кромок</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 підварочного шва.

термообробки має визначатися у кожному конкретному випадку. У конструкції з кутовими перерізними швами всі види термообробки, крім гартування, призводять до зниження міцності й підвищення пластичності металу шва. Відпуск або відпал добре зварюваних сталей використовують як виключення для зняття внутрішніх напружень, 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 секціями, каскадом, гіркою (див. підрозділ 7.8).

При виготовленні конструкцій із низьковуглецевих сталей широко використовується ручне зварювання покритими електродами. Залежно від відповідальності зварюваного виробу користуються електродами типів Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А. Електроли Э38 використовуються для виготовлення невідповідальних виробів, Э42 і Э46 — для відповідальних, а електроли 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 Ст3сп 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 якість розуміють відсутність дефектів (газових пор, підрізів, відшарування металу шва, несправу, шлакових уключень), 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-1ДСК, 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.

Таблиця 14.4

Режими автоматичного та напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі таврових з'єднань сталей без скою кромки (двобічні та однобічні шви)

Катег шва, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Виліт електрода, 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 зворот, 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 дугою 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 бляшної зони виникають криккі 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 криккість і схильність до утворення тріщин.

Стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин досягається зниженням кількості вуглецю в металі шва шляхом застосування електродних стрижнів і присаджувального дроту з пониженням вмісту вуглецю, а також зменшення частки основного металу в металі шва. Останнє досягається розширенням кромок і зварюванням на режимах, які забезпечують мінімальне проплавлення основного металу. Цьому сприяють електроди з великим коефіцієнтом наплавлення.

Для одержання пластичного металу шва і бляшної зони виконують попередній та супровідний підігрів, а також повільне охолодження аварного шва. Температура підігріву має бути тим вищою, чим більший вміст вуглецю в сталях і знаходиться в інтервалі 100–450°C. Попередній підігрів невеликих конструкцій проводить у печак (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 наляною лампою. Температуру підігріву визначають за допомогою термохімічних і термофарб (див. підрозділ 7.1).

Для забезпечення надійної роботи зварної конструкції після зварювання рекомендується виконувати підігрів і високий відпуск. Для цього необхідно відразу ж після зварювання помістити конструкцію у відналявальну піч, нагріту до температури 675–700°C і після витримувачня 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 криккості й тріщин.

Для підвищення пластичності металу шва та стійкості проти виникнення тріщин необхідно знизити глибину проплавлення (діаметр електрода і струм), використовувати електроди типів Э2А, Э3А6А, Э50А. Кращі результати дає застосування електродів із фтористокалійним покриттям марок УОПН-13/45 і УОПН-13/55, які забезпечують достатню міцність і високу стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин.

Для уникнення тріщинів, які виникають при зварюванні середньовуглецевих сталей, крім підтриму, використовують модифікування металу шва і дводугову зварювання в окремі ванни. При зварюванні необхідно уникати накладання широких валиків, зварювати короткою дугою, поперечні рухи змінити подовжніми, кратери обов'язково зварювати або виводити на технологічні пластини (в кратерах можливе утворення тріщин).

14.6. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Високівуглецеві 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 термобробкою (відпал, 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 нижче 5°C і на прогрях категорично забороняється.

14.7. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОЗМІЦНЕНИХ СТАЛЕЙ І СТАЛЕЙ ІЗ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Для виготовлення різноманітних конструкцій широко використовують 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 труднощею при зварюванні є зменшення міцності ділянки біляшовної зони, яка піддається нагріванню до 400–700°C (проходить самовідпуск). Тому для термозміцнених сталей рекомендується малопотужні режими зварювання та інші способи з мінімальним відведенням тепла в основний метал.

При зварюванні сталей із захисним покриттям можливе попадання його у зварювальну ванну, що призведе до утворення пор і тріщин. Тому із зварювальних кромок необхідно видаляти покриття. При зварюванні оцинкованої сталі частинки цинку залишаються

на кромках і щоб попередити появу дефектів зварювання збільшують у 1,5 рази, швидкість зварювання зменшують на 10–20 %, електрод переміщують вздовж шва з дозованими коливальними рухами. Кращі результати одержують при використанні електродів з рутинним покриттям, які забезпечують мінімальний вміст кременію 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 низьковуглецеві, 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 гарячих і холодних тріщин та збільшення об'єму, що призводить до підвищення внутрішніх напруг. Тому у зварних конструкціях в основному використовують низьковуглецеві 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 розкислюють 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 гартованої структури. Тому режими зварювання більш обмежені, ніж при зварюванні низьковуглецевих сталей. Забезпечення однакової міцності металу шва і основного металу досягається за рахунок легування його елементами, які переходять з основного металу. Іноколи для зменшення крихкості металу шва його додатково легують через зварювальний дріт. Стійкість металу проти кристалізаційних тріщин підвищують впливом 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 електродами з форністор-кальциєвим покриттям типу З42А, З46А, З50А марок АНО-1, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, СМ-11, ДСК-50 та ін. При зварюванні у вуглекислому газі в основному застосовують електродний дріт Св-08Г2С. Для покращення зовнішнього вигляду

шва, підвищення пластичності та продуктивності зварювання використовують порошкові дроти марок ПП-АН8, ПП-АП10 та ін.

Низьколеговані низьковуглецеві сталі 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД при зварюванні не гартуються і не схильні до перетрівання. Тому їх зварюють у будь-якому тепловому режимі, аналогічному режиму зварювання низьковуглецевої сталі.

Сталі з вищим вмістом вуглецю типу 15ХСНД, 14ХГС, 15Г2Ф при зварюванні можуть утворювати гартовану структуру і перетріватися. Їх зварюють при знижених значеннях струму електродами меншого діаметра порівняно із зварюванням низьковуглецевої сталі. Якщо температура попередньої підігріву сталей до 120–150°C.

При температурі вище ніжче ніжче 25°C зварюванням загартованих сталей забороняється.

Низьколеговані середньовуглецеві сталі типу 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА мають вищу здатність до гартування. Тому їх перед зварюванням попередньо підігрівують до 200–300°C і застосовують високий відпуск при 650–680°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 обов'язкові.

14.9. ЗВАРЮВАННЯ ЛЕГОВАНИХ ТЕПЛОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

Низьколеговані теплостійкі сталі характеризуються достатньою жароміцністю, жаростійкістю, западом пластичності й стабільністю структури при температурах до 600°C. Підвищення міцності сталей при високих температурах досягається за рахунок змінення легуючими елементами: хромом, молібденом, ванадієм, вольфрамом, ніобієм. Вміст вуглецю у теплостійких сталях в основному не перевищує 0,08–0,12%.

До теплостійких відносяться сталі марок 12МХ, 2Х1М1Ф, 20Х1М1Г1ПР, 25Х1М1Ф, 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-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ. Технологія зварювання передбачає попередній і супровідний місцевий або загальний підігрів виробу до температури 200–450°C для забезпечення однорідності металу шва з основним металом і термічну обробку – високий відпуск при температурі 650–750°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 низьковуглецевих сталей. Багатопарове 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°C) має бути повільним.

Для зварювання теплостійких сталей в монтажних умовах при неможливості підігріву її термічної обробки використовують електроди АН-ЖР-2 (нікелеві), які придатні для зварювання у всіх просторових положеннях.

14.10. ЗВАРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

До середньолегованих сталей відносяться 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 вишукують 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 електродні дроти з меншою температурою плавлення, виконують термообробку після зварювання для зменшення водню в основному металі й металі шва, проковують зварні з'єднання.

Ручне дугове зварювання середньолегованих сталей виконують низьководневими електродами з фтористо-кальцієвим покриттям на постійному струмі зворотної полярності. При зварюванні швів великого періоду 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 нікелехромокобальтові.

За структурою високолеговані сталі поділяються на мартенситні (09X16H4B, 11X11H2B2MФ та ін.), мартенситно-феритні (15X12BHMF, 12X13 та ін.), феритні (08X13, 15X25T та ін.), аустенитно-мартенситні (07X16H6, 08X17H5M3), аустенитно-феритні (08X20H14C2, 08X18Г8H2Г) й аустенітні (03X17H14M2, 03X16H15M3Б, 12X18H19, 45X14H14B2M та ін.). У деяких аустенітних сталях нікель, як дефіцитний метал, частково або повністю замінюють марганцем та азотом (10X14Г14H3, 12X17Г9H4A й ін.).

За системою зменшення високолеговані сталі та сплави поділяють на карбідні, які містять 0,2–1,6% вуглецю, боридні (утворюються з бориди заліза, хрому, ніобію, молибдену, вуглецю й вольфраму), з інтерметалідним зміцненням (зміцнення дрібнодисперсними частинками).

За властивостями високолеговані сталі й сплави поділяють на корозійостійкі (нержавіючі), жаростійкі (не окислюються при температурах до 1300°C), жароміцні (здатні працювати при температурах вище 1000°C без зменшення 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 вліт електрода та збільшують швидкість подачі дроту при механізованому зварюванні.

Для запобігання виникненню міжкристалічної корозії при зварюванні високолегованих сталей в металі шва єворують двофазну

структуру (аустеніт і ферит) для зменшення зерен, обмежують вміст шкідливих домішок (сірки, фосфору, свинцю, олова, бісмута), легують титаном, ніобієм, танталом, ванадієм, широкієм (вони активно взаємодіють із вуглицем 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 супродійний підігрів до 250–300°C, обмежують вміст шкідливих домішок, вводять легуючі елементи (молибден, марганець, вольфрам), складають деталі із зазором (1,5–2 мм), зменшують розбрикування металу та об'єм зварної ванни.

Корозійостійкі сталі, які не містять титану, ніобію або леговані ванадієм, 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 (гартуванням). 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 аустенітних — використовується рідко. Високолеговані сталі з вмістом вуглецю понад 0,12% зварюються за 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 мінімальному зварювальному струмі.

При зварюванні корозійостійких сталей не допускається зблуження дуги на основному металі і попадання бризок на основний метал. Складки, заглиблення, цільни, несправди можуть бути джерелом корозії. Крапці корозійостійкості 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 вигорання легуючих елементів зварювання необхідно виконувати короткою дугою без коливальних рухів кінець електрода.

При зварюванні в аргоні деяких аустенітних сталей на межі сплавлення епостерігається утворення пор. Недоупнення повинні 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 $I_{\text{дн}} = (15-35)d_{\text{д}}$, на постійному струмі зворотної полярності, витковими валиками без коливальних рухів, короткою дугою. Використовують електроди із стружним таким же хімічним складом, як і основний метал, з урештученням покриттям

зварюваності та експлуатаційних вимог. Наприклад, при зварюванні кислотостійкої хромонікелевої сталі 12Х18Н10Т для запобігання утворенню гарячих тріщин і міжкристалічної корозії використовують електроди типу Э-04Х20Н9 (марка ЦЛ-11) та Э-02Х19Н9Б (марка ОЗЛ-7).

Зварювання в захисних (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 небезпек міжкристалічної корозії. Зварювання плавним електродом проводять на струмках, які забезпечують струмінне перенесення металу. Зварювання в аргоні або гелії характеризується високою якістю зварних швів, стабільністю горіння дуги, добрим захистом зварної ванни від навколишнього середовища.

Аргоно-дугове зварювання вольфрамовим електродом виконують на постійному струмі прямої полярності. При зварюванні сталей з високим вмістом алюмінію використовують змінний струм, який сприяє руйнуванню оксидної плівки (Al_2O_3). Кінець присадкового дроту постійно повинен знаходитися у струмені захисного газу.

Зварювання під флюсом використовують для з'єднання металів товщиною 3–50 мм. Порівняно із зварюванням вуглецевих сталей, при зварюванні високолегованих у 1,5–2 рази зменшується виліт електродного дроту, використовуються електроди діаметром 2–3 мм на постійному струмі зворотної полярності з використанням безокислительних низькокремністих фтористих флюсів (АІФ-14, К-8 та ін.).

Більшість високолегованих сталей добре зварюються контактним зварюванням. Аустенітні сталі, як правило, зварюються плазмовим зварюванням.

14.12. ЗВАРЮВАННЯ РІЗНОРІДНИХ І ДВОШАРОВИХ СТАЛЕЙ

Для економії дорогих високолегованих сталей використовують комбіновані конструкції, які виготовляють із декількох сталей. Зварювання високолегованих сталей з низько- або середньолегованими та вуглецевими не завжди забезпечує достатню міцність з'єднання. При зварюванні різнорідних сталей, які відрізняються між собою хімічним складом і властивостями, у шві можуть з'явитися тріщини, а в зоні сплавлення часто проходить зміна структури з утворенням шарів, які суттєво відрізняються від структури зварюваних сталей. Це однею особливістю є різний коефіцієнт лінійного розширення металів. Для вирішення цієї проблеми використовують зварювальні матеріали, які відрізняються одержанням 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, зварні з'єднання 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 аргоно-дуговому зварюванні сталей мартенситного класу Х15Н5/12Т або аустенітно-ферритного класу 1Х21Н15Т з міддю або хромистою бронзою Бр.Х05 товщиною 1–2 мм вольфрамовий електрод необхідно зміщувати у напрямку міді на величину діаметра електрода. Це пов'язано з високою теплопровідністю міді і необхідністю одержання металу шва з високим вмістом міді для зняття схильності до тріщин.

Коли зварюють сталі Х15Н5/12Т і 12Х19Н10Т з ванадієм, джерело нагрівання зміщують 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 зміщують у бік більш тугоплавких металів, щоб вміст у металі шва ванадію і ніобію становив не менше 40%.

Одним із перспективних напрямків 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 розплавленим 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 (нахиснення алюмінію).

При зварюванні ніобієвого сплаву з корозієстійкими 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 зварюванні сталі з титаном використовують проміжні вставки з ванадію. Спочатку при зварюванні сталі з ванадієм дугу зміщують у бік сталі, а при зварюванні 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 наступним зварюванням міді з ніобієм. Біметалеві вставки вказаних сплавів і сталей із стабільними 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 08X18N10T, 08X17N13M3T та ін. За хімічним складом електроди повинні бути однорідні з металом плакованого шару. Наприклад, для сталі 08X17N16M3T використовують електроди з покриттям марки НЖ-16 і дрот марки Св-06X19N10M3T. Для зварювання аустенітними електродами застосовують постійний струм зворотної полярності. Найчастішешов виконується спочатку з боку вуглецевої сталі, а потім наплавлений метал з боку плакованого шару захищається і зварюється уже плакований шар. Дугове зварювання 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 основні труднощі зварювання середньвуглецевих сталей?
5. Що є причиною утворення пор і тріщин при зварюванні термочувливих сталей?
6. Який вплив легуючих елементів на зварюваність сталей?
7. Які типи електродів використовують для зварювання вуглецевих сталей?
8. Наведіть приклади марок електродів для зварювання вуглецевих сталей.
9. Які типи електродів застосовують при зварюванні теплостійких сталей?
10. Які технологічні особливості зварювання високолегованих сталей?
11. Як зварюють 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 чавунні 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 карбиди залізоцементит (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 пластівців вільного вуглецю, що розташовуються між кристалами чистого заліза. При нагріванні ковких чавунів вище 900°C графіт може утворити цементит і деталь втратить властивості 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 оіпр при розтягу в кгс/мм², друге – відносне вилонження в процентах (КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ80-1,5).

Стрий чавун використовується в якості конструкційного матеріалу. У ньому більша частина вуглецю знаходиться у вільному стані (графіт). Стрий 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 відбілюванню чавуну. Марганець утворює сірчані з'єднання, нерозчинні в чавуні, які легко виводяться з металу в шлак. При вмісті марганцю більше 1,5% зварюваність погіршується.

Кремій 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 рідкотекучість і покращує зварювальність, але знижує температуру кристалізації, підвищує твердість і крихкість. Вміст фосфору не повинен перевищувати 0,3%.

Сірка погіршує зварювальність 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 введнням у рідкий чавун при температурі не нижчій 1400°C чистого 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 шістьма цифрами, 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 кулястий форми (ЧНХТ, ЧЮ22Н, ЧН20Д2Н, ЧХ9Н5).

Антифрикційні чавуни використовують для виготовлення підшипників ковзання, пошувок, першихвех кілець, втулок. Згідно ГОСТу 1585-85 чавун буває сірий (АЧ-1...АЧ-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.

Чавуни деталі, які тривалий час працюють при високих температурах, майже не піддаються зварюванню через окиснення вуглецю і кремнію під впливом високої температури (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 набувається маслом і газом, які при зварюванні згоряють і утворюють гази, сприяючи появі пор у шві.

Зварювальність 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 графітація (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 графітації) — С, Si, Al, Ni, Co, Cu;
- відбілювачі (запобігають графітації і сприяють утворенню цементиту Fe₃C) — S, V, Cr, Sn, Mo, Mn.

Питаква 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 виробів.

Це однією труднощі зварювання є схильність чавуну гартуватись при швидкому охолодженні. На загартованих ділянках чавун ємє твердим (800 НВ) і не піддається механічній обробці. Утворення гартованих структур супроводжується появою напруг та утворенням тріщин. Питомою густиною загартованої мікроструктури (мартенситу) значно вище густини густини заліза й ця різниця призводить до виникнення напруг і тріщин між зернами.

Здатність чавуну до відбілювання при швидкому охолодженні призводить до утворення відбілюваного шару на металі шва та основному металі. Цей шар має низьку пластичність і під впливом розтягуючої сили, яка утворюється при охолодженні, разом із надплавленим металом відколюється від основного металу або спричинює утворення тріщин.

Чавуни не мають істотного оро стану при переході від рідкого стану в твердий, що утруднює його зварювання в різних просторових положеннях. Швидкий перехід з рідкого стану в твердий та низька 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 крупнозернистими. Погано зварюються чорні чавуни, які 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 повну

графізацію металу шва та відсутність відбілювання в більшій зоні, а також виключає можливість появи зварних напруг.

Спосіб холодного зварювання потребує менших затрат, але при накладанні валика на холодну поверхню чавуну внаслідок швидкого відводу тепла в більшовій зоні утворюються відбілені ділянки, а метал шва стає крихким.

Найпоширеніше зварювання чавуну плавким електродом, неплавким вугільним електродом, газовим зварюванням. У якості присаджувального 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 стрижні з мідно-нікелевих сплавів (МНЧ-1); залізо-нікелевих (ЦЧ-3А), міді (із залізним порошком у покритті – ОЗЧ-1), хромо-нікелевого сплаву з мідною оболонкою (АНЧ-1), чавуну з підвищеним вмістом нікелю (відомі в нашій та зарубіжній Superfonte Ni), звичайні покриті електроди з використанням шпатель, анкерів і сталевих паличок; порошкові дроти; газове зварювання.

Використовуючи електроди з різних сплавів із покриттям різноманітного складу, можна утримати метал шва з необхідною міцністю й в'язкістю, але уникнути гартування в зоні наплавлення при зварюванні без підігріву виробу не вдається. Можна тільки зменшити товщину загартованого шару, використовуючи багатопродісне зварювання на малих зварювальних струмах.

Зварювання та наплавлення чавунів сталевими електродами 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 пронаплавлення 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 валиків на різних ділянках шва; підсилення шва останніми шарами зовнішньої його частини.

Кращі результати одержують при використанні електродів УОНИ-13/45 на постійному струмі зворотної полярності. Високої міцності зварного з'єднання при цьому не досягають. Через швидке охолодження чавун у зоні сплавлювання відбілюється та загартовується, що утруднює наступну механічну обробку. Великі внутрішні напруги й крихкість металу призводять до утворення тріщин.

При ванному способі зварювання можна досягнути задовільної обробки за рахунок підігріву основного металу, зниження частки основного металу у зварній ванні та повільного охолодження.

Найчастіше сталеві електроди використовуються для виправлення дефектів лиття з наступним шліфуванням наплавлених ділянок і декоративного наплавлення.

Зварювання чавунів електродами ЦЧ-4, ЦЧ-5 і СЧ-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 сталями, для зварювання дефектів у відливках і для попереднього наплавлення першого шару на спрацьованій чавунній деталі під наступне наплавлення спеціальними електродами.

Електроди ЦЧ-4 складаються з сталеного стрижня (марки дроту Св-08 або Св-08А) із фтористо-кальциєвим покриттям (у покритті вміст ферованадію доходить до 70%). Електроди ЦЧ-5 мають сталевий стрижень і покриття з графітованими елементами. Для зварювання використовують постійний струм зворотної полярності або змінний струм від трансформатора з напругою холодного 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 отвір 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 шевелітками ділянками довжиною 25–35 мм із наступним охолодженням на повітрі до 60°C. При зварюванні виробів з ковкого чавуну довжина валика може бути збільшена до 80–100 мм. Для зменшення відбілювання чавуну в зоні сплавлювання і для поліпшення механічної обробки, глибина проплавлення має бути мінімальною.

При багатошаровому зварюванні перший шар виконують електродами малого діаметра (3 мм) уривками із перервами, щоб температура виробу поблизу місця зварювання не перевищувала 50–60°C. Шар виходить тонким, пористим і з поперечними тріщинами. Другий шар накладається на перший поперечними валиками, тим самим на поверхні деталі у місці зварювання створюється шар сталі. Подальше зварювання може виконуватися електродами більшого діаметра, але також із перервами, щоб уникнути концентрації тепла в одному місці. Наступні шари створюють достатню щільність 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 проковані середніх швів. Цей спосіб не можна використовувати для чавунних виробів, які використовують при температурах вище 100°C тому, що в місці зварювання можуть виникнути додагкові напруги (через різницю значень коефіцієнта теплового розширення сталі й чавуну), а це в свою чергу призведе до появи тріщин.

Зварювання чавунів електродами марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-4, 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 тіску.

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	3-3,5	0,5-0,8	0,08	0,08	0,05	0,3	4	250	Для стового зварювання для стружних електродів при гарячому зварюванні крупногабаритних відливок із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								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 стружних електродів при гарячому і напівгарячому зварюванні деталей складного профілю з тонкими стійками і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								16	700	
I заводу «Станколіт»	3-3,6	3-3,5	0,5-0,8	0,08	0,2-0,5	0,1+Ti	0,1+Pb	4	250	Зварювання крупногабаритних відливок із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								16	700	
II заводу «Станколіт»	3-3,6	3-3,5	0,5-0,8	0,08	0,3-0,5	0,1+Ti	0,1+Cu	4	250	Зварювання деталей складної форми (в ролях) з тонкими стійками і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								16	700	

При холодному зварюванні чавунними електродами зварний шов виходить неоднорідний через те, що важко забезпечити необхідну швидкість охолодження, при якій не відбувається відбілювання чавуну. Тому в рівних перерізах шва виходять неоднорідні структури й твердість. Цей спосіб зварювання не має широкого використання. Кращі результати при зварюванні чавунними електродами дає підігрів 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 ферозварганцю; 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 очисанням і проковуванням кожного валика. Після обриву дуги зварювання продовжують при охолодженні металу шва до температури 50-60°C. Використовують електроди діаметром 4-7 мм.

Широкое 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 шириною 5-10 мм. Якщо між витками спіралі 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 більшової зони повністю не усувається. Кращі результати одержують, коли в пучок добавляють стрижень із монель металу або латуні діаметром 2-3 мм. Щоб уникнути затікання розплавленого металу наперед дути, електрод розташовують під кутом 50-70° у напрямку зварювання.

Плавлення комбінованого електрода і сплавлення його з чавунним створює умови для одержання якісного шва, тому що мідь не з'єднується з вуглецем — вона залишається пластичною і в'язкою, а сталь навугльцюється, що підвищує її міцність.

Зварювання чавунів мідніокальциєвими і міднокальциєвими електродами МНЧ-1, МНЧ-2 виконують без підігріву. 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 фтористокальциєвого покриття (40% графіт, 60% крейда або мазур). Наплавлений метал — залізоміднонікелевий сплав із твердістю ПВ135, у шредній зоні — НВ160, що дозволяє вільно проводити механічну обробку. Недоліком електродів є не забезпечення високої стійкості проти виникнення пор і тріщин. Тому зварювання виконують короткою дугою валіками довжиною 15–20 мм. Після обриву дуги валік проковтують і відновлюють зварювання після його охолодження до 50–60°С. Електроди для зменшення вологості просушують при 150–200°С протягом 1–1,5 год. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності електродом діаметром 3–5 мм і силі зварювального струму 90–190 А.

Залізонікелеві електроди ЦЧ-3А призначені для зварювання високоміцного магнісного чавуну з кулястим графітом і сірого чавуну. Електроди ЦЧ-3А складаються з дроту Св-08Н50 і фтористокальциєвого 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 короткозворотні рухи електродом. Після накладання кожного шва необхідно проковтання металу в гарячому стані і охолодження до 50–60°С. Електроди забезпечують високу міцність і відсутність тріщин зварного з'єднання та задовільну механічну обробку.

Зварювання чавунів міднохромонікелевими електродами АНЧ-4 розроблені інститутом електрзварювання ім. Є. О. Патона. Електроди виготовляють з дроту марок Св-04Х19Н19 і Св-04Х19Н9Т, оболонка з червоної міді марки М2 або М3, покриття фтористокальциєве. 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 проковтуванням у гарячому стані відриву після обриву дуги. Перед зварюванням наступні ділянки деталей охолоджують до 40–50°С. Електроди просушують протягом 1 год при температурі 300–350°С. При холодному зварюванні механічна обробка задовільна.

Зварювання чавунів сталевими електродами з встановленим шпильок використовують для підвищення міцності зварних з'єднань при ремонті відновлювальних крупногабаритних чавунувиробів — станин, рам, кронштейнів та ін. Для цього застосовують сталеві шпильки, які вкручують на різьби в кромки з'єднуваних

деталей. Вони призначені для зв'язування металу шва в чавуні і передачі зусилля від шва до маси основного металу, яка не піддається термічному впливу, виниючи крихкі ділянки біляшовної зони.

При зломі виробу з товщиною стінки до 12 мм шпильки можна вкручувати без розчищення кромок. 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 кромок виконують так, як показано на рис. 15.1.

Каванку виробують на глибини 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 $(3 \div 4) d$ (d — діаметр шпильки), виставляють від шпильок до кромки — $(1,5 \div 2,0) d$, глибина вкручування шпильок — $1,5 d$, висота частини шпильки, яка виступає, — $(0,8 \div 1,2) d$. При свердлінні отворів і нарізанні різьби для шпильки 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 обжарюють кільцевими швами кромок для рівномірного нагрівання деталі. Після обжарювання шпильок до дотику кільцевих валіків між собою, виконують проплавлення ділянок між обжареними шпильками тижок урозид. Довжина кожного валіка не повинна перевищувати 100 мм. Другий шар валіків наноситься перпендикулярно напрямку валіків першого шару. Після наплавлення на кожну сторону поверхню кромок 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 провідники між ними проварюються неповністю. Зверху вся поверхня зварного з'єднання покривається сталевим наплавленим металом.

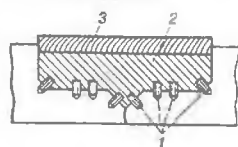


Рис. 15.1. Підготовка чавунного виробу до холодного зварювання з сталевими шпильками:
1 — сталеві шпильки; 2 — сталевий зв'язок; 3 — наплавлення електродами

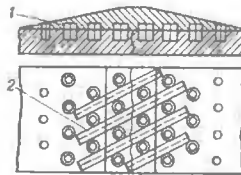


Рис. 15.2. Схема розташування сталевих зв'язок у металі шва при холодному зварюванні чавуну:
1 — шпильки; 2 — сталеві зв'язки

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 вуглецького каїно
5	50 технічної бури, 50 двоуглею кислого натрію
6	23 плавленої бури, 27 вуглекислого натрію, 50 натрієвої селітри
7	50 прокаленої бури, 50 натрієвої селітри, 4 газу (понад 100)

Холодне зварювання чавунів сталевими електродми з встановленим шпильком 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 марки Св-10ГС або Св-08Г2С виконують при малій погонній швидкості. 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 валика наплавляється віднапопальний валик у тому ж напрямку. Зварювання у вуглекислому і азоті 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 некорсткокому контурі (відбиті частини, дефекти на виступаючих частинах відливок). 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 шва, використовують попередній підігрів до температури 100–150°C.

Порошковий дріт ППЧ-2 має кращі технологічні властивості. При зварюванні на підвищених режимах покращується розчинність шихти і рідкотекучість 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 самозвідні 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 кремнію при зварюванні вугільною дугою використовують такі ж флюси, що й для газового зварювання. Основним флюсом є технічна безводна бура, яку перед зварюванням проसують при температурі 400°C і розтирають у порошок (табл. 15.2).

Флюси призначені для видалення із зварної ванни оксидів розчиненням 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 кінш до температури світло-червоного кольору, а виймають із ванни рідко і тільки для нанесення флюсу.

Основний метал і присаджувальний пруток плавляться під флюсом. Флюс, попадаючи у зварну ванну, запобігає окисненню кромок металу, виводить оксиди і неметалеві домішки з розплавленого металу, а також сирієць утворенню плівки, яка захищає його від впливу повітря.

Позитивний 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 знищенню 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 виробі попередньо нагрівають до температури 600–700°C. Для зварювання крутих 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 кроки для кращого доступу зварювальної дуги, виконують формування для запобігання витіканню металу із зварної ванни. Формування виконують графітовими й вугільними пластинами, скріпленими формувальною масою із кварцового піску. Форму просують із поступовою зміною температури від 60 до 120°C. Щоб запобігти збільшенню тріщин їх кінці завердлюють. Неглибокі тріщини зварюють без розчищення кромок (до 5 мм), а при більшій глибині їх повністю розчищають.

Вироби підігрівають у печах, турнах, спеціальних нагрівальних ямах до температури 600–700°C, а в деяких випадках і до 850°C. Нагрівання до таких високих температур необхідне для зниження 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 стрижня 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 завареної ділянки графітова пластина 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 застилають шаром дрібного пороху дерев'яного пугілля, а весь виріб з усіх сторін закривають азбестовими листами та сухим піском або охолоджують у пісі.

При дуговому зварюванні метал зварної ванни підтримують у рідкому стані до повного заповнення дефекта або заформованого місця. Це забезпечує найбільш повне виділення газів і неметалевих включень із металу шва й рівномірну структуру в металі шва та бляшовій зоні.

Якість з'єднання деталей і температура визначаються формою зварювальної ванни. Випукла поверхня ванни (рис. 15.5 а) вказує на погане з'єднання.

У цьому випадку зварник повинен збільшити нагрівання стінок виробу. Коли ванна надто гаряча, розплавлення стінок інтенсивне й

утворюється характерне підрізання стінок (рис. 15.3 б). Тоді дугу переносять у центр ванни, температуру ванни зменшують шляхом додавання дрібних уламків чавуну, стрижнів та ін.

Правильний процес зварювання характеризується вигнутою поверхнею зварної ванни (рис. 15.3 в) без підрізів, а рідкий чавун добре змочує стінки деталі.

Багатощарове 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 складної деталі або дефект, розташований на масивній деталі в такому місці, де скорочення від нагрівання при зварюванні не зустрічає великого опору. За технікою виконання й використанням матеріалів напівгаряче зварювання не відрізняється від гарячого.

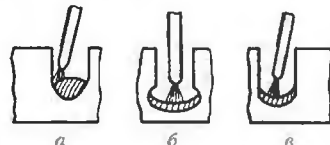


Рис. 15.3. Форма зварювальної ванни залежно від температури її нагрівання:

а — холодна, б — порогріта, в — нормальна

Контрольні запитання та завдання

1. Як грудують зварювання чавунів?
2. Чому погано зварюються чавуни, які тривалий час знаходилися у контакті з маслом і тислом?
3. Як способи зварювання чавунів?
4. Наведіть марки електродів для холодного зварювання чавунів.
5. Як виконують зварювання чавунів ставевими електродами з встановленням шпильок?
6. Як марки дроту використовують для окислюваного зварювання чавунів?
7. Як зварюють чавуни пугільним електродом?
8. Як електроди використовують для гарячого зварювання чавунів?
9. Чому виконують повільне охолодження чавунів?
10. Яке зварювання чавунів називають напівгарячим?

ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ

Присаджувальні 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
МІЖ-5-1	3-10	> 15	8
МІЖКТ-5-1-0,2-0,2	> 10	< 1	1,5

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, корозійністкість. Густина міді становить 8,93 г/см³, температура плавлення – 1083°С, температура кипіння – 2360°С.

Мідь відноситься до важкозварюваних металів і потребує достатньо високої кваліфікації зварника.

Таблиця 16.2

Флюси для зварювання міді та її сплавів

Номер флюсу	Склад, %						
	бура прокалена	борна кислота	калій фосфорновислий	кварцовий пісок	деревне вугілля	кулонна сіль	вуглекислий калій (поташ)
1	100	—	—	—	—	—	—
2	—	100	—	—	—	—	—
3	50	50	—	—	—	—	—
4	75	25	—	—	—	—	—
5	50	35	15	—	—	—	—
6	50	—	15	15	20	—	—
7	70	10	—	—	—	20	—
8	56	—	—	—	—	22	22

16.1.1. Ручне дугове зварювання міді вугільним або графітовим електродами

Однібічне зварювання міді товщиною до 4 мм виконують без розчищення кромки, а при більшій товщині — з розчищенням кромки 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 електричних з'єднань, установлюють графітові або азбестові підкладки. В якості присаджувального металу застосовують прямокутні або круглі мідні трубки марок М1, М2, М3 або мідь з підвищеним вмістом фосфору (до 0,2%), який є актичним розчинювачем 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 насипають на зварюваний метал перед зварюванням, а також уводять нагрітим кінцем прутка у зварну ванну під час зварювання.

Перед початком зварювання виріб міді рівнують до температури 400–500°С у спеціальних печах, вугільною дугою або газовим пальником.

Дуже важливо, щоб зварюваний метал добре змочувався рідким металом. Якщо крапля розплавленого металу, потрапляючи на по-

верхню зварюваного металу набирає кулятоподібної 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 очищають і прогрівають дугою, а при необхідності виконують попередній або супровідний підігрів.

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 призведе до пористості шва. Швидкість зварювання має бути максимальною (не нижче 15 м/год), тому що при малих швидкостях зварювання оксид міді накопичується на межах зерен і мідь етає крихкою. Пруток розташовують під кутом 15–30° до горизонталі

перед дугою, а відстань від його кінця до поверхні зварюваного металу повинна становити 5–6 мм. Стикові шви зварюють за один прохід, бо повторне нарізання 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 пробках.

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	графітного	
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 виробів 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 марки ЗТ, «Комсомолец-100» та ін. Стрижені ці електроди виготовляють із мідного дроту, а в деяких випадках — з бронзи Бр. КМцЗ-1. Покриття електродів — фтористо-кальцієве. Електроди придатні для зварювання в нижньому положенні на постійному струмі зворотної полярності. При наявності в покритті поташу можливе використання змінного струму, але збільшується розбрикування металу. Зварювальний струм підбирають 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 коливальних 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 згину — 120–180°.

Хімічний склад наплавленого металу: марганець — 2,2%, кремній — 0,7, залізо — 1,4%, решта — 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	Напряга на дугу, 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 виконують на постійному струмі зворотної полярності. Деталі завтовшки понад 10–12 мм зварюють у 3–6 щарів 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 азотнодугове 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.

Азотнодугове зварювання можливе завдяки тому, що азот щодо міді є інертним газом.

Широко використовуються напівавтоматичне зварювання міді плавким електродом у середовищі азоту з використанням звичайних зварювальних напівавтоматів. При цьому збільшуються розмір вихідного отвору наконечника палиника 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 дріт (прутки) 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 електрода, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр вихідного отвору сопла, 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 теплоти зварювання виконують на графітових або азбестових підкладках із минавками.

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 поперельного та супровідного 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 аргону-дугового зварювання міді вольфрамовим електродом

Підготовка кромок	Товщина деталі, мм	Діаметр електрода, 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	1	7–8,5	140–150
	2,5	3,5–4,0	2,5–3,0	1	7,5–9,5	220–230
	3,0	3,5–4,0	2,5–3,0	1	7,5–9,5	230–240
V-подібне розчищення кромок ($\alpha = 70...90^\circ$)	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
X-подібне розчищення кромок ($\alpha = 70...90^\circ$)		4–4,5	6,0	8–10		3-й прохід 300–450
		4–4,5	6,0	8–10		4-й прохід 300–450
		4–4,5	3,0	8–10		250–350*
	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
	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 електродом (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 кромок за один прохід, а при більшій товщині — з V-подібним скосом кромок під кутом 60° без притулення із застосуванням мідних вивідних пластинок. Зварюють на флюсових подушках або графітових підстаках. При автоматичному зварюванні вугільним електродом використовують спеціальні зварювальні головки, а при зварюванні плавкими електродом — 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 кромок	Зварювальний струм, А	Напруга на дугі, В	Швидкість зварювання, м/год (м/с)
<i>Стикове з'єднання</i>				
5–6	Без розчищення	500–550	38–42	45–40 (12,6–11,2)
10–12		700–800	40–44	20–15 (5,6–4,2)
16–20		850–1000	45–50	1,2–8 (3,4–2,2)
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	Однобічне	850–1000	45–50	12–8 (3,4–2,2)
<i>Кутове 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	3–5 (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, слоно, свинець та ін.), які змінюють властивості сплавів.

Завдяки високій міцності, пластичності, корозійстійкості 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 деформівні й ливарні.

Деформівні латуні, призначені для обробки тиском, нормуються ГОСТ 15527-70. Після букви Л у порядку зменшення відсоткового вмісту початковими буквами позначаються легуючі елементи. Після букв 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 підвищеними буквами й цифрами вказують середній відсотковий вміст легуючих елементів. Наприклад, латунь ЛЦ40С містить 40% Zn, 1% Pb, решта — Cu.

Основною трудностю при зварюванні латуні є випаровування й згоряння цинку (температура кипіння цинку становить 905°C); у результаті зменшується його вміст у металі шва і погіршуються якості. Це призводить до виникнення пор і зниження міцності зварного з'єднання. Окиснення парів 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 попередній підігрів до температури 300–500°C, а при товщині більше 20 мм необхідний супровідний підігрів. Після зварювання шов проковують, а виріб відпалюють 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 пояснюється сильним випаровуванням цинку при дуговому зварюванні порівняно з газовим зварюванням, дуговим у захисному газі або дуговим під флюсом. Для зварювання використовують електроди марки ЗТ, стрижень яких виготовлено з бронзи марки Бр.КМц3-1,

а покриття містить 17,5% марганцевої руди, 13 плівкового шпату, 16 срібною 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 кромок, а при більшій товщині розчищення кромок таке ж, як і для сталей. Після зварювання шов проковують, а потім відпалюють при температурі 600–650°C для вирівнювання хімічного складу і видалення металу шва дрібнозернистої структури.

Зварювання латуні виконують й іншими електродами залежно від марки зварюваної латуні. Електроди стрижні беруть подібними за хімічним складом до основного металу, на які наносять покриття основного типу з великим вмістом активних розкиснювачів (алюміній, графіт, феросиліцій та ін.).

16.2.2. Зварювання латуні графітовим електродом

Зварювання латуні малої товщини графітовим електродом виконують із зануренням кінця електрода у розплавлений метал. Дуга при цьому гаснути не буде тому, що між зануреним 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 калью та 2,5% деревного вугілля. Присаджувальним металом є прути 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 заливники понад 3 мм зварюють із розчищенням кромок під кутом 60–70° з притупленням 1,0–2 мм. Латуні товщиною до 10 мм зварюють без підігріву, а понад 10 мм — із підігрівом до 300–350°C. Режими 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

Зварювання латуні вольфрамовим електродом виконується в середовищі аргону або гелію на постійному струмі прямої полярності. Режимні зварювання такі самі, як і при аргонно-дуговому зварюванні міді. Хімічний склад присаджуваного металу повинен відповідати складу основи. При зварюванні 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. Електрошнур 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. Режимні 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 визначається її назва бронзи. Їх поділяють на олов'яні та безолов'яні, ливарні й деформівні. Застосування й способи зварювання бронзи 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 бронзи 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 6-6-8	Сплави з добрими ливарними властивостями	Фасонне лиття та арматури	Задовільна газова зварюваність
<i>Алюмінієві</i>			
Бр.АЖ 9-4 Бр.АМЦ 3-7.5 Бр.АЖН10-4-4 Бр.АЖН11-6-6	Не містять олова, але добре замінюють олов'яні бронзи. Високі антикорозійні та антифрикційні властивості	Фасонне лиття та арматури	Повижена зварюваність. Краще зварювання вугільним електродом. Газозварювання не дає стійких результатів і застосовується рідко
<i>Кремністі</i>			
Бр.КМц 3-1	Високі механічні, корозійні, антифрикційні, зносостійкі властивості	Арматури в харчовій, хімічній та інших галузях	Задовільна зварюваність через присутність кремнію й 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, які 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 вугільним електродом з присаджуваним 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 ливарні бронзи (з великим вмістом легуючих елементів) зварюють з підігрівом до 250–300°C. Навто великий підігрів шкідливий при зварюванні олов'яних бронз, у яких підігріте надлишкове олово розташовується на межі зерен і розплавляючись може призвести до руйнування виробу під впливом власної маси. Бронзи зварюють у шийковому або похилому положенні (до 15°).

16.3.1. Зварювання бронзи вугільним електродом

При зварюванні безолов'яних бронз вугільним електродом використовують літні бронзові стрижні 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 (кожної), 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, швидку 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 (Br.Mц5 та ін.) використовують електроди «Комсомолец-100» обов'язково з попереднім підігрівом до температур 400–500°C. Для зварювання алюмінієвих і алюмонікелевих бронз застосовують електроди АНМц/ЛКЗ-АВ із попереднім підігрівом до температури 150–300°C. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності короткими длянками; 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 стрижня електрода	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А
Олов'яний	Br. ОФ 9-0,3	5–6	160–220
	Br. ОФ 6,5-0,4	7–8	220–260
Алюмінієвий	Br. АЖ 9-4 Br. АЖМц 10-3-1,5	5–6	220–280

Примітка. Струм постійний, полярність зворотна.

16.3.3. Автоматичне зварювання бронзи плавким електродом під флюсом

Зварювання бронзи виконується дротом такого ж хімічного складу як і основний метал під флюсом АН-20, одно- або двобічним швом без скосу кромок при товщині металу до 10 мм, а при більшій товщині — зі скосом кромок. Режим зварювання підбирають залежно від з'єднуваних деталей і діаметра дроту.

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти ПП-Br.ОЦС6-6-3 і ПП-Br.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 на існуючих зварювальних і наплавлювальних установках, а при використанні порошкової стрічки застосовують спеціальну приставку для подачі електрода.

Для наплавлення бронзи в середовищі азоту використовують порошкові дроти ПП-Br.АЖ9-4А та ПП-Br.ОС10-10А. Зварювання бронзи в аргоні подібно 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 інших профільованих матеріалів.

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, магнієм, 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: деформівні та ливарні. Деформівні поділяють на незміцновані термічною обробкою (АМц1, АМг1) і зміцновані термічною обробкою (Д1, Д16, АВ, АК, В-95). З ливарних найчастіше використовують силуміни — сплави алюмінію з кремнієм від 4 до 13% (Ал2, Ал4, Ал9).

Деформівні сплави зварюють переважно дуговими методами. Газозварювання використовують при відсутності такої можливості.

Ливарні сплави добре піддаються газовому зварюванню та наваріні з аргонодуговим методом широко використовуються при зварюванні дефектів лиття й при ремонті. Зварюваність алюмінієвих сплавів залежить 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 АМг3 АМг5 АМг6	Задовільна Добра Задовільна Те ж
Алюмінієво-мідні (типу дюралюмінію)	Д1 Д16	Погана Те ж
Термоаміцновані сплави АМц	АВ АК В95	—" —" —"
<i>Листові сплави</i>		
Алюмінієво-кремністі (типу силумін) з вмістом від 4 до 13% кремнію	Ал2 Ал4 Ал9	Задовільна Те ж —"

Основні труднощі зварювання алюмінію та його сплавів:

1. Сильна окиснюваність при високих температурах 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 сплавлення, сприяє непроварам, підвищує крихкість металу. Її видаляють механічними і хімічними способами перед зварюванням, захищають зону зварювання інертним газом, катодним розпильовуванням, 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 ливарну усадку металу й наявність лопішок. Для цього зменшують вміст лопішок у зварюваному металі, додавають модифікатори (Zr, Ti, V) і регулюють режим зварювання.

3. Підвищена пористість металу шва, яка пов'язана з насиченням розплавленого металу воднем. Для зменшення пористості детально очищають кромки та дріт від вологи, використовують попередній підігрів, збільшують діаметр присадкового дроту.

4. Високий коефіцієнт лінійного розширення сприяє появі значних зварювальних деформацій, що потребує використання спеціальних затискних пристосувань й усунення деформацій після зварювання.

5. Велика рідкотекучість і низька міцність при температурах вище 550°C викликає необхідність застосування підкладок;

6. Висока теплопровідність алюмінію потребує застосування потужних джерел тепла та підігріву;

7. Високий коефіцієнт в'язкості й швидкий тепловідвід утруднюють формування шва, що потребує необхідного розчищення кромки;

8. Низька температура плавлення алюмінію (660°C) та відсутність зміни кольору при нагріванні зважаєчасно помітити момент початку плавлення. Для цього необхідний досвід і навички зварника.

Деталі з алюмінію та його сплавів з'єднують зварюванням плавленням і зварюванням тиском. 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 контактно зварювання; дугове зварювання вугільним або графітовим електродами; алюмінієвим покритим електродом; електршлаковим зварюванням і зварюванням електронним променем.

16.4.1. Ручне дугове зварювання алюмінію покритими електродами

Зварювання алюмінію та його сплавів покритими електродами 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 теплої 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 вологи (у сушильних шафах). Сплави з магнієм і кремнієм освітлюють у 25%-ному розчині ортофосфорної кислоти. Алюміній товщиною до 5 мм зварюють без скосу кромки, а при більшій товщині виконують розчищення кромки під кутом 60° з притупленням 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 200–400°C.

Щоб уникнути випадкового зварювання шлакованні уключень, які роз'їдають алюміній, кількість шарів при зварюванні має бути мінімальною. Алюміній товщиною до 8 мм зварюють за один прохід із повним заповненням розчищених кромки. Багатопрохідне зварювання алюмінію товщиною понад 8 мм виконують при детальній очистці й відмиванні шлаку з поверхні кожного проходу.

Для дугового зварювання алюмінію тисну 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 кріоліт. Зварювання виконують у нижньому і вертикальному положеннях постійним струмом зворотної полярності, короткою дугою без коливальних рухів із підтітром до 250–400°С. Електроди перед використанням обов'язково просушують при температурі 200°С протягом години. Розбризування підвищене, формування валика й стійкість ігорня дузи заловіліні. Витрати електродів на 1 кг наплавленого металу становлять 2 кг, коефіцієнт наплавлення — 6,32 г/А·год, тимчасовий опір розриву — 63 Н/мм², кут згину — 160°. Після зварювання шлак видаляють промиванням гарячою водою із застосуванням сталених щіток. Обрив дузи при завершенні плавлення електрода необхідно виконувати поступово, щоб загарити кратер.

Для зварювання й наплавлення деталей із сплавів алюмінію тисну 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 згину — 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 просторових положеннях	
	нижче	вертикально
4,0	100–200	100–120
5,0	130–150	120–140
6,0	160–180	

Примітка. Напряга на дузі — 30–36 В.

Одним із недоліків зварювання алюмінію покритими електродами є внутрішня пористість шви, але при зварюванні чистого алюмінію властивості зварюного 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 шлівок і підвищення якості зварних з'єднань. Підвищити ефективність руйнування тугонплавкої оксидної шлівки можна

шляхом збільшення силового впливу дузи та розплавленій метал, інтенсифікації перемішування його по всьому об'єму зварної ванни та активізації процесів катодного очищення.

Механічне дроблення оксидної шлівки досягають при зварюванні з імпульсною подачею дроту. При цьому відбувається періодичне заглиблення дузи в розплавленій метал, що викликає хвилюві переміщення рідкого металу й механічне дроблення оксидної шлівки.

Глибину проникнення дузи в розплавленій метал можна збільшити за допомогою пульсації зварювального струму або накладання на дугу додаткових короткочасних імпульсів. Внаслідок різних значень тиску дузи в періоди 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 керуване магнітне поле призводить до колового, позовжжого або поперекового відхилення дузи, що сприяє інтенсивному перемішуванню рідкого металу, механічному дробленню оксидної шлівки в кореневій частині ванни і вивнесенню її частин на поверхню, де вони руйнуються катодним розпилюванням.

На процесі утворення та руйнування оксидної шлівки значно впливає форма імпульсів зварювального струму. Для цього застосовують струм прямокутної форми з незалежно регульованими тривалістю й амплітудами імпульсів при змінній та зворотної полярності. При переході від синусоподібної форми струму до трапецієподібної і прямокутної тривалість зростання та спаду сили струму скорочується, завдяки чому збільшується час катодного очищення й створюються сприятливі умови для катодного руйнування оксидної шлівки.

Прямокутна форма струму забезпечує різкі зміни силового впливу дузи з частотою, рівною зміні полярності струму. При зміні полярності струму проходить чергування незруйнованих частин оксидної шлівки з вижної у верхню частину зварної ванни під безпосередній вплив дузи.

Змінюючи параметри амплітудної й тимчасової асиметрії струму, одночасно впливають на глибину занурення дузи в розплавленій 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 підігріванням присаджуваного

Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію
неплавким електродом

Тип з'єднання	Товщина деталі, мм	вольфра- мового електрода	присадку- вального дроту	Зависний газ			Кількість проходів	
				аргон				
				сила зварю- вального струму, А	витрата газу, л/хв	сила зварю- вального струму, А		витрата газу, л/хв
З відбортковою кромкою Стикове, без роз- чищення кромок, однобічне	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
	4,0	3,0-4,0	2,0-3,0	120-150	8-10	90-120	26-31	1
Стикове, без роз- чищення кромок двобічне	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
	6,0	4,0-5,0	3,0-4,0	240-270	8-10	200-240	22-28	2
Стикове, з розчи- щенням кромок	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
	10,0	4,0-5,0	4,0-5,0	270-380	9-12	250-280	27-35	3
Таврове, кутове, випуск	2-4	2,0-4,0	1,5-4,0	100-200	5-7	80-160	16-18	1-2
	4-8	4,0-5,0	3,0-4,0	200-300	7-8	180-250	20-24	2-4
	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
а аргоні плавкими електродами

дроту або нечорного подання в зону зварювання аргону й гелію.

Підсамодугові зварювання з використанням асиметричного змінного струму прямокутної форми широко використовуються в літакобудуванні, космічній техніці. Наскрізне проникнення плазмової дуги сприяє ефективному руйнуванню оксидної плівки на торцях кромок по всій товщині зварюваного металу, забезпечуючи більш високу якість швів, ніж при звичайному аргонодуговому зварюванні.

Аргонодугові зварювання алюмінію неплавким електродом виконують на змінному струмі з використанням осцилятора. При живленні дуги змінним струмом за рахунок катодного розщеплення в пашінероді, коли катодом з вибіт, руйнується оксидна плівка.

У якості присадкувального металу використовують дріт такого ж хімічного складу як і основний метал. Зварювання виконують у всіх просторових положеннях без коливальних рухів електродів. Дугу зацалюють на допоміжній графитовій 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. Подача аргону проводиться за 3-5 с до збудження дуги, а вимкнення — через 5-7 с після обриву дуги (забезпечується електромеханічним відсіканням).

При напівавтоматичному і автоматичному зварюванні неплавким електродом паливник розташовується вертикально, а присадкувальний метал подається у плавильну зону так, щоб кінець дроту вихрив на край зварної ванни. Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію вольфрамовим електродом вказані в табл. 16.13.

Ручне та автоматичне зварювання трифазною дугою вольфрамовими електродами дозволяє проплавити без розчищення кромок 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 приводить 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 дия стандартних однофазних трансформаторів, а з'єднанням трикутником, або спеціальний трансформатор.

При зварюванні алюмінію плавким електродом використовуються постійний струм зворотної полярності. На прямій полярності горіння дуги не стабільне і ефект катодного розщеплення не використовується. Суть катодного розщеплення полягає в тому, що при зварюванні на зворотної полярності проходить дробиння оксидної плівки Al_2O_3 з наступним розщепленням частинок оксиду на поверхні виробу. Оксидна плівка, яка покриває зварну ванну, руйнується під ударами важких позитивних іонів захисного газу аргону, що утворюється при горінні дуги. Утворений потік іонів здатний дробити оксидні плівки алюмінію й магнію. Інші гази, які мають меншу атомну масу, не здатні дробити та розщепити оксиди. Механічний спосіб видалення оксидної плівки полягає в тому, що зварник зачирює у зварну ванну сталений пруток діаметром 3-4 мм і вибіває його з оксидом, який прилипає до поверхні прутка. При струшуванні оксид легко відокремлюється від прутка. Орієнтовні режими напівавтоматичного аргонодугового зварювання алюмінію плавким електродом наведені в табл. 16.14.

Таблиця 16.14

Орієнтовні режими напівавтоматичного аргонодугового 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 (1·10 ⁻³ м/с)	Витрата аргону, л/хв	Кількість проходів
Стикове, без розширення кромок	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 (4,2-6,5)	8-10	2
Стикове, з У-подібним розширенням кромок, 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 Х-подібним розширенням кромок	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	4-8
	30-60	2,0	330-360	26-28	18-20 (5,0-5,6)	12-15	10-40
Таврове, кутове, випуск	4-6	1,5-2,0	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 виконують замиканням зварювального дроту в виріб. Робочий тиск аргону такий же, як і при зварюванні неплавким електродом. Відстань між кончиком палички і виробом установлюють у межах 5-15 мм.

16.4.4. Автоматичне зварювання алюмінію плавким електродом напіввідкритою дугою

Зварювання виконують напіввідкритою дугою при певному дозуванні флюсу, який регулюється спеціальним дозатором, який переміщується перед зварювальною дугою. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності при вильоті електрода 50-60 мм з використанням флюсів АН-А1 та ін. Однорічне зварювання виконується по зазору від 1,0 до 2,0 мм на флюсовій полушці або на підкладках. Зварюють без підгіріву і розширення кромок при товщині алюмінію до 20-25 мм.

16.4.5. Зварювання алюмінію вугільним електродом

Ручне зварювання вугільним електродом виконують у нижньому положенні постійним струмом прямої полярності. В якості присадкового дроту використовують електродний дріт таких марок з технічного алюмінію (Св А97, Св А85Т, Св А5), алюмінієво-мар-

ганцевий (Св-АМ1), алюмінієво-магнієвий (Св-АМ1З, Св-АМ14, Св-АМ15, Св-АМ16, Св-АМ161, Св-АМ163, 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 улакові; термін зберігання не більше 1 року з дня виготовлення. Зварювальний дріт підбирають із урахуванням однорідності з основним металом або з підвищенням вмістом 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 відбортковою кромок без присаджувального дроту. Зварювання товстих деталей потребує розширення кромок 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. Залишки флюсу сильно розідають алюміній, тому їх видаляють з поверхні шва промиванням водою або механічним способом. Зварювання виконують без коливальних рухів при куті нахилу 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 паличка 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 додавкою лантану) діаметром 0,8-1,5 мм. Плазмове зварювання потребує точного складання деталей і введення паличка строго по зварюваному стіку.

16.5. ЗВАРЮВАННЯ ТИТАНУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Головна перевага титану та його сплавів порівняно з іншими конструкційними матеріалами в тому, що при малій густині ($4,51 \text{ г/см}^3$) вони мають границю міцності від 450 до 1500 МПа і велику корозійстійкість у багатьох середовищах.

Фізичні властивості її 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 кисень легко розчиняється в титані, що призводить до підвищення міцності і зниження пластичності. При тривалому впливі кисню на титан, нагрітий вище 450°C , на його поверхні утворюється шар окислу, який складається з оксиду титану (TiO_2). 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 нитрид 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 (TiH_2). При нагріванні проходить розпад гідриду титану та відновлюється ударна в'язкість. Гіриди, що накопичуються 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 відкачу.

Вуглекисле 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 (аргоні, гелії) 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 ВТ-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 виробів складують 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 леговай 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 неретриву. На початку і в кінці стик прихватують технологічні пластини, призначені для запаювання дуги і виводу кратера. Зазор – не більше 0,3–0,5 мм, а притуплення кромок – не більше 10% товщини металу.

Зварювальний дріт, прутики й пластини повинні мати чисту, не насичену воднем і не забруднену маслом поверхню. У випадку забруднення присаджувальний метал чистять піскоструминною обробкою, протравлюють або застосовують механічну обробку. Для зручності зварювання дріт рубують на стрижні довжиною 300–400 мм. Дріт діаметром від 1,2 до 7,0 мм постачають після вакуумного відкачу при температурі 900–1000 $^\circ\text{C}$ 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 зазору; 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 несплавленим електродом

Стикове з'єднання	Товщина металу, мм	Зазор, мм	Притуплення, мм	Кут розчищення, град
Без слою 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 колізальних рухів із наступним охолодженням до температури 100°C і захищенням металу після кожного проходу.

Ознакою задовільної якості зварювання титану та його сплавів є відсутність кольорів мінливості на поверхні шва. Темні кольори мінливості 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 граничну міцність 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, піддають 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. Витримування при відпалі дорівнює 20-40 хв, охолодження — на повітрі.

Режим 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	Витрата аргону (л/хв) для захисту дуги зварювального 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 несплавленим електродом (табл. 16.18).

Таблиця 16.18

Режими автоматичного аргонодугового зварювання несплавленим 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	Витрата аргону, л/хв
1,0	1,5-2,0	60-80	8-10	1,5-2,0	25-30	14-15
1,5	1,5-2,0	80-100	10-12	1,5-2,0	25-30	14-15
2,0-2,5	2,0-2,5	120-200	12-14	2,0-2,5	20-25	18-19
2,5-3,0	2,5-3,0	200-220	12-14	2,0-2,5	20-25	24-25
4,0	2,5-3,0	220-260	12-14	2,0-2,5	15-20	27-28
10,0	2,5-3,0	220-260	12-14	2,0-2,5	15-25	27-28

Примітка. Діаметр присаджувального дроту становить 1,5-2 мм.

Використовується зварювання титану несплавленим електродом із застосуванням флюсів-паст (АН-ТА, АН-Т17А, АН-Т23А та ін.).

16.5.3. Дугове зварювання титану в інертному газі сплавленим 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 дрютом діаметром 1,2–2,0 мм на постійному струмі прямої полярності. Стикові з'єднання товщиною 3–6 мм виконують із взором або з V-подібним розчищанням кромки під кутом 60°. При більшій товщині роблять V- або X-подібні скоси кромки.

Режими зварювання титану в інертних газах плавким електродом указані 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 дузі, 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	25–40	20–25	30–40
			22–28	(7–11,2)		
10–12	1,6–2	440–520	38–40	20–35	20–28	70–90
			30–34	(5,6–0,8)		
15	3	600–650	42–48	25–30	25–30	70–100
			30–32	(7–8,4)		
16–36	5	780–1200	46–52	15–25	40–55	100–120
			34–38	(4,2–7)		

Примітка. У чисельнику — при зварюванні у гелію, у знаменнику — в аргоні.

Таблиця 16.20

Режими механізованого аргонодугового зварювання титану плавким електродом

Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр електродного дроту, мм	Напруга на дузі, В	Виліт електрода, 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 наведено для стикових, таврових і з'єднань внапуск. 2. Струм зварювання постійній 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 безкасієві флюси АН-Т1 (при товщині титану до 6 мм) і АН-Т3 (для зварювання титану великої товщини). Перед зварюванням флюс просушують при температурі 200–250°C протягом години. Структура металу, звареного під флюсом, більш дрібнозерниста ніж 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	40–60	50
Виліт електрода, мм	12–16	16–22

16.5.5. Електрошлакове зварювання титану

Електрошлакове зварювання використовується для з'єднань титану великої товщини. Звичайне електрошлакове зварювання не придатне для зварювання титану через насичення 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 вищину близько 2000°C, яка значно вища за температуру плавлення титану. Електрошлакове зварювання виконують змінним струмом від трансформаторів із жорсткою зовнішньою характеристикою.

16.5.6. Плазмове та імпульсно-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 звичайним аргонодуговим зварюванням неплавким електродом плазмове зварювання забезпечує меншу деформацію зварюваних виробів і більшу продуктивність.

Імпульсно-дугове зварювання використовують для зварювання тонколистового титану товщиною до 3 мм без присаджувального дроту (табл. 16.22).

Технологія зварювання активних металів цирконію, танталу, ніобію, молибдену подібна зварюванню титану і виконується в захисних камерах, наповнених інертними газами.

Таблиця 16.22

Орієнтовні режими механізованого імпульсно-дугового зварювання неплавким електродом у середовищі аргону стикових з'єднань із титану без розчищення кромок

Товщина зварювального металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год ($\cdot 10^{-3}$ м/с)	Тривалість, с	
				Імпульс	паузи
<i>Однібоке 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>Двобоке 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)	0,16–0,38	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 г/м³) із температурою плавлення 1453°С. 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 технічного чистого нікелю (Н1-О, Н1-Іу, Н1-І, Н2, Н3, Н4) і його сплавів зварюють із міддю, хромом (ніхром), молибденом, кобальтом та іншими металами. Технічний 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 тугоплавкі 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 дуговим зварюванням у середовищі аргону, покритими електродами під шаром безкисневого флюсу, вугільним електродом із застосуванням флюсів, а також газовим зварюванням.

16.6.1. Аргонодугове зварювання нікелю вольфрамовим електродом

Для запобігання пористості шва до аргону додають до 20% водню (при більшому вмісті водню вишкочать пори). Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності, лівим способом, короткою дугою. Паціник нахилиють під кутом 20–30° до осі шва. Виліт вольфрамового електрода становить 12–15 мм. Для зварювання використовують присадку вдалій дріт такого ж хімічного складу, як і основний метал, або нікель, легований розкиснювачами (кремій, марганець, титаном) марок Н-1; НП-1; НН-2; НМц 2,5; НМц АТЗ-1,5-0,6; ПМц ТК1,5-2,5-0,15; Х20Н80 (ніхром) та ін. Зварюють із максимумом можливою швидкістю і з мінімальними коливальними рухами кінця електрода на мідній підкладці або із захистом кореня шва аргонем. При багатозаровому зварюванні шар накладають після повного охолодження металу, зачищення від шлаку і знежирювання. Допускається охолодження шва водою. Режими зварювання наведені в табл. 16.23.

Таблиця 16.23

Режими ручного аргонодугового зварювання нікелю і його сплавів

Товщина металу, мм	Розчищення кромок	Число проходів	Діаметр, мм		Зварювальний струм, А	Витрати аргону, л/газ
			вольфрамового електрода	присадкувального дроту		
2	Без розчищення	1	1,5–2	1–1,5	70–90	8–10
4		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
6		3	2–2,5	2,5–3	80–100	10–12
10		4	2,5–3	3	100–120	10–12
6	X-подібне	2	2,5–3	2,5–3	90–120	10–12
8		4	2,5–3	2,5–3	90–120	10–12
10		4	2,5–3	2,5–3	100–120	10–12

16.6.2. Ручне дугове зварювання нікелю покритими електродами

Зварювання нікелю покритими електродами Н-37К використовують для деталей товщиною понад 1,5 мм. Технологію підготовки кромок наведено в табл. 11.24. Стрижень електродів виготовлюють із нікелю НН-1, а товсте покриття складається з плавкого шпату, мармуру, феротитану, ферованадію, алюмінію, марганцю та інших елементів. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 30–45 А на 1 мм діаметра електрода. Зварювання виконують короткою дугою в одній прохід із швидкістю на 15% нижчою 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 стружником НМц 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 криплення деталей. Довгі шви зварюють окремими ділянками, розриви між якими зварюють після зачищення шлаку. Шов роблять з підсиленням, яке потім знімають шліфуванням. Після зварювання виконують термообробку.

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання нікелю виконують зварювальним дротом марки НМц 2,5 під фтористим флюсом. Монель-метал та інші нієло-нікелеві сплави зварюють електродами із дроту НМЖМц 28-2,5-1,5 з фтористокальциєвим покриттям.

16.7. ЗВАРЮВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

Магнієві сплави мають малу гуштину (1,74 г/см³), але високу міцність. У 1,5 рази легші за алюміній і в 4,5 рази легші за сталь. Ці властивості їм визначають широке використання магнієвих сплавів.

Через невисоку механічні характеристики чистий магній для виготовлення деталей у машинобудуванні не використовують. При одержанні сплавів у ролі основних легуючих елементів використовується алюміній, цинк і марганець.

Промислові магнієві сплави прийнято ділити на деформівні (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 завжди не іскрять. Корозійність магнієвих сплавів невисока, тому виробі з них необхідно захистити утворенням захисних плівок із інертними покриттями лаками, фарбами, споксидними плівками.

При зварюванні магнієвих сплавів за оптимального вибору режиму зварювання й присадкувального мат'їалу відношення міцності зварного з'єднання до міцності основного металу становить 0,6–0,90. Технологічна зварюваність деформівних магнієвих сплавів наведена в табл. 16.25.

Таблиця 16.25

Технологічна зварюваність деформівних магнієвих сплавів

Група сплавів	Марка сплаву	Зварюваність
<i>Нетермозміцнювані:</i> низької міцності середньої міцності	МА1	Лобча
	МА2, МА2-1, МА8, МА9	Задовільна
<i>Термозміцнювані:</i> високої міцності жароміцні	МА5, МА14 МА11, МА13, ВМД1	Погая Задовільна

Труднощі зварювання:

- низька теплопровідність;
- близькість температур плавлення її сплавах (651°С);
- високий коефіцієнт лінійного розширення;
- велика хімічна спорідненість магнію з киснем;
- наявність тугоплавкої плівки (MgO), температура плавлення якої становить 2500°С.

Магнієві сплави зварюють вольфрамовим електродом у захисному газі аргоні. Дугове зварювання покритими електродами, вугільним електродом і газове 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 шви 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.

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 плавким електродом із струмним перенесенням металу. Тонкий метал зварюють короткою дугою з періодичними миттєвими короткими замиканнями. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності.

При стиковому зварюванні без розм'якчення кромки за один прохід плавким електродом можна зварювати деталі товщиною 5–10 мм із силою струму 150–150 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, ПО та Іп.), склад яких наведено в табл. 16.27. Флюс наносять на зварювані кромки і присаджувальний метал з обох боків. У якості присадки використовують пресований дріт або пруток із сплаву, який має однаковий хімічний склад з основним металом.

Таблиця 16.27

Склад флюсів для зварювання магнієвих сплавів

Компонент	Флюси			
	ПО	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
Кріоліт	—	20	—	4,8
Оксид магнію	—	—	—	2,8
Фтористий кадмій	—	—	15	—
Кислий фосфорнокислий літій	—	—	11	—

Покриті електроди для зварювання магнієвих сплавів використовують за тією ж технологією, що й для зварювання алюмінію. Міцність зварних з'єднань, які виконують у захисному газі аргоні, досягає 60–90% міцності основного металу.

16.8. ЗВАРЮВАННЯ СВИНЦЮ

Свинець — хімічно стійкий метал із низькою 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°С);
- висока рідкотекучість;
- низька теплопровідність;
- утворення тугоплавкого оксиду свинцю (РbО) з температурою плавлення 850°С.

Вироби із свинцю мають високу корозійостійкість проти впливу агресивних середовищ.

Дугове зварювання свинцю вугільним або графітовим електродами виконують на постійному і змінному струмі. Перевагу надають постійному струму прямої полярності. Свинець 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 пруток — під кутом 30–45°. Зварюють без перерви з незначними вертикальними коливальними рухами електрода. При обриві дуги ділянку навколо кратера зачищають до металового блиску, а потім продовжують зварювання. Для видалення оксидної плівки застосовують флюс із стеарину або суміш стеарину з кацфоллю 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 плівку тугоплавкого металу. Режими зварювання вугільним електродом наведено в таблиці 16.28.

Таблиця 16.28

Режими 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°. Таким електродом одержують коротку

дугу малого перерізу, при горінні якої утворюється малий об'єм зварної ванни і, враховуючи рідкотекучість свинцю, зварювання полстхується.

Вертикальні, горизонтальні і стельові шви з'єднують з відбортовкою кромок і внапуск. У нижньому положенні застосовують стикові з'єднання. Режим аргонодугового зварювання свинцю вольфрамовим електродом наведено в табл. 16.29.

Таблиця 16.29

Режими аргонодугового зварювання тонколистового свинцю вольфрамовим електродом

Положення шва	Діаметр електродів, мм	Зварювальний 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 внапуск	1,5	12-15	1,5	1,5-2
Вертикальне внапуск	1	8-10	1	1,5

Свинць також зварюють вольфрамовим електродом імпульсною дугою, яка забезпечує максимальне проплавлення металу на струмі 15-40 А і напруці 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, захисного покриття. Сплави цинку бувають ливарні (ЦА4, ЦАМ4-1) і антифрикційні (ЦАМ9-1,5; ЦАМ10-5). З них виготовляють корпусні деталі, прилади, високочинні вироби, арматуру.

Температура плавлення цинку становить 419°C.

Для зварювання цинку застосовують газове та аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом. Режим 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 прилади, припої, покриття, акумулятори, електротехнічні вироби та ін. Температура плавлення срібла становить 960,5°C, густина — 10,5 г/см³.

Срібло зварюють вольфрамовим електродом на постійному струмі прямої полярності в середовищі аргону й газовим зварюванням із застосуванням флюксів на основі бури. Режим аргонодугового зварювання срібла наведено в табл. 16.31.

Таблиця 16.31

Режими аргонодугового зварювання срібла вольфрамовим електродом (постійний струм прямої полярності)

Товщина металу, мм	Умови зварювання	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр присаджувального дроту, мм	Витрати аргону, л/хв
1	Стикове з відбортовкою кромок	2	60-70	—	3-4
2	Стикове без зазору	2	120-130	2-3	4-5
3	Стикове без зазору	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 напруж і деформацій виробу. Велика розчинність кисню у рідкому сріблі призводить до утворення оксиду срібла та евтектики Ag₂O-Ag; в результаті метал стає крихким. При зварюванні срібло інтенсивно випаровується.

Зварювання сплавів на основі срібла, які містять алюміній, мідь, кремій і кадмій, пов'язане з додатковими труднощами — схильністю до внутрішнього окиснення. При окисненні легуючих добавок зникає пластичність. Через велику рідкотекучість срібла зварювання виконують у нижньому або похилому положеннях.

Аргонодугове зварювання срібла несплавним електродом виконують на постійному струмі прямої полярності з використанням аргону першого сорту. Рекомендують використовувати присаджувальний дріт із срібла з добавками розкиснювачів (нікелю, паладію та ін.). Ручне зварювання виконують справа наліво кутом угоред без поперечних коливань. Кут нахилу нальвіка до площини зварюваних 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 (корони) шва. Можливе також зварювання срібла у висячому положенні. При цьому в міру нагрівання металу в процесі зварювання рекомендують зменшувати силу зварювального струму до значень, які забезпечують виконання швів без провалів і протікання.

Механічні властивості з'єднань із срібла, виконаних електродувим 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
Ванадію	0,5	90	8-9	0,8-1,1
	1	14	9-10	1,4
	2	320	16-18	1,4
Ніобію	0,5	80	8-10	0,8-0,9
	1	160	10	1,1
	2	240	10	0,4
Танталу	0,5	80	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, молібдену 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, молібдену і вольфраму неплавким електродом у середовищі гелію та аргону

Сплав	Товщина металу, мм	Швидкість зварювання, см/с	Зварювання в гелію		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 геліі		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
Молібдену	1	0,3	120	17,5	135	10
		0,6	140	18	160	12
		1,1	180	18	230	12
		2,2	240	17,5	330	10
	2	0,3	225	18	240	10
		0,6	270	18	300	10
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	—	—
		0,6	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 звичайному зварюванні в захисних газах короткою дугою для зменшення зварної ванни струм знижують до мінімального, що може призвести до виникнення неповарів. Імпульсне зварювання допускає значно більше тепловкладення порівняно із зварюванням з короткими замиканнями, що виключає неповар 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 вольфрамовим електродом є підвищення стабільності горіння дуги, однакова якість металу шва по всій його довжині, відсутність розбризкування металу

- Охарактеризуйте трудні зварювання міді.
- Які є способи зварювання міді?
- Назвіть основну трудність зварювання латуні.
- Які особливості зварювання бронзи?
- Поясніть труднощі зварювання алюмінію.
- Які є способи зварювання алюмінію?
- Назвіть труднощі зварювання титану та його сплавів.
- Як виконують дугове зварювання нікелю і його сплавів?
- Назвіть особливості зварювання магнієвих сплавів.
- Охарактеризуйте технології зварювання свинцю, цинку, срібла та інших кольорових металів і сплавів.
- Які присаджувальні матеріали використовують для зварювання міді вугільним електродом?
- Які покриття електроди застосовують при зварюванні міді?
- Назвіть основні способи зварювання міді в захисних газах.
- Назвіть режими автоматичного зварювання міді під флюсом.
- Вкажіть способи зварювання латуні.
- Які особливості зварювання латуні вугільним електродом?
- Як зварюють латунь під флюсом?
- Назвіть способи дугового зварювання бронзи.
- Охарактеризуйте підготовку кромок до зварювання алюмінію.
- Назвіть марки електродів для зварювання алюмінію.
- Охарактеризуйте особливості аргонодугового зварювання алюмінію.
- Назвіть особливості використання прямокутної форми струму при зварюванні алюмінію.
- Які ви знаєте 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 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 заціплені порожнини, зановнені газами, парами води і продуктами їх розпаду. 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: шліфування й детальне очищення кромок від забруднень, зварювання із зазором, попередній підігрів, збільшення тривалості існування зварної ванни.

Висока температура 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 тепловоду при кристалізації, використовують заходи щодо обмеження залишкових напружень у металі шва.

Для з'ясування тугоплавких металів використовують дугове зварювання в середовищі інертних газів, електронно-променевого й лазерного зварювання. Підготовку поверхні тугоплавких металів виконують переважно хімічним травленням або електрополіруванням. 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 присадувального металу. При товщині металу понад 3 мм застосовують дугове зварювання плавким електродом. Зварювання виконують змінним і постійним струмом прямої полярності.

Суттєвий вплив на формування металу шва, структуру її 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 легування елементами, які нейтралізують шкідливий вплив домішок. До таких елементів належать вуглець, цирконій, титан, реній 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 взаємної розчинності, різниця температури плавлення, співвідношення коефіцієнтів теплового розширення, взаємодія в газах 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;
- розрив дифузійних процесів у зоні зварного шва.

Умовою утворення необмеженої взаємної розчинності металів є неспривнення 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 нагірому й розплавленому стані з киснем, азотом, воднем, вуглецем, які утворюють хімічні сполуки, що знижують механічні властивості зварних з'єднань. Існують 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 теплоти в бік одного з металів або розплавляючи відбортовану 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 дифузією. 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 розширює 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 підвищувати розчинність елементів, які впливають на утворення хімічних сполук. Наприклад, при зварюванні алюмінію із сталлями гальванічним 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 вставок 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 мідію 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 різнорідних сплавів покритими електродами

Порівняно проста технологія зварювання різнорідних сплавів покритими електродами. Для зварювання сталей із сплавами на нікелевій основі використовують електроди марки ЦТ-28 (ширина валиків — до 2,5 діаметра електрода).

Електроди марки ОЗЛ-32 застосовують для зварювання вуглецевої сталі з нікелем, корозійстійких сталей з нікелем та інших різнорідних сплавів. При зварюванні електрод тримають майже вертикально, дугу обривають, повільно відводячи її на наплавлений метал. Зварювання виконують нитковими валиками. 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 ВИ-ИМ-1 зварюють різнорідні сталі її сплави. При цьому одержують метал шва типу Х19М14Н631В.

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 ізми використовують при електродуговому зварюванні тугоплавких металів?
6. На яку групу поділяють різнорідні метали?
7. Охарактеризуйте особливості зварюваності різнорідних металів.
8. Назвіть способи зварювання різнорідних металів.
9. За які умови виникає взаємна розчинність металів при зварюванні різнорідних металів?
10. Назвіть стадії процесу утворення з'єднань різнорідних 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 хімічної апаратури, переважно смикстей.

Пластмаси є суміщами, зварюваність яких визначає їх основа — полімер. У полімери вводяться стабілізатори, пластифікатори, пігменти, наповнювачі та ін. Пластифікатори добре впливають на зварюваність. Пластмаси поділяються на дві групи: термопластичні (термопласти) і терморезистивні (реактопласти).

Термопласти при нагріванні розм'якшуються (плавляться), тобто переходять у в'язкотекучий стан. При бататоразовому 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 блоки, а й далі 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: вилі від визначених температур або в стані набухання (при введенні розчинника) переходить у в'язкотекучий стан. Останній при наявності щільного 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	Границя міцності, МПа, при			Відносне видовження, %	Граничі 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 (вініпласт)	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 відлячення 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 під дією нагріву й прикладених зусиль освітлення, в процесі охолодження в шві і в біляшовній зоні виникають місцеві напруження та можуть утворитися тріщини. Тому зварні шви не раціонально піддавати навантаженням відразу після зварювання. Але через 10–20 год власні напруження релаксуються. Цей процес може бути прискорений термічною обробкою штика.

Цим способом з'єднуються термопласти і еластотермопласти.

18.3. ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

В основі лежить процес виникнення 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 реакційнодатні групи реактопластів (основи фенолформальдегідних, аміноформальдегідних смол, які залишаються на поверхні вих шарх деталей). Присадку у вигляді розольної смоли додають при зварюванні пластмас на основі споксидних полімерів. Нагрівання здійснюється за допомогою струму високої частоти або ультразвуку.

Хімічне зварювання ефективніше при з'єднанні орієнтованих термопластичних шлівок і волокон, зварні шви яких повинні зберігати вихідні фізико-механічні властивості вихідного матеріалу, які втрачаються при плавленні. В якості присадок використовують багатоосновні кислоти та їх хлорангідриди. Хімічне зварювання шлангів може здійснюватись і без присадкового матеріалу, в результаті дії нейтронного або рентгенівського випромінювання.

18.4. СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

Для виготовлення зварних конструкцій застосовують 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 нагрітим інструментом двома способами: зварювання оплавленням і проплавленням (рис. 18.1). У першому випадку нагрівач дотикається 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.

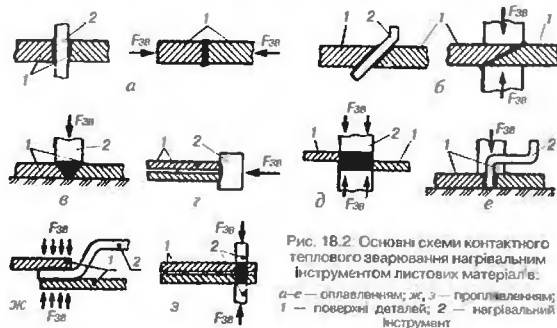
При цьому використовують різні схеми нагріву зварних деталей. Нагрівачі можуть бути у вигляді пластин, стрічок, дисків, профільних планок, ниток, голук.



Рис. 18.1. Схеми контактного теплового зварювання нагрітим інструментом.

1 — поверхні деталей; 2 — нагрівальний інструмент

Основні схеми контактної теплової зварювання нагрівальним інструментом листових матеріалів зображено на рис. 18.2.



18.4.1. Зварювання пластмасових труб

Пластмасові труби мають ряд переваг над металевими: невелика щільність, висока корозійна стійкість, відносно низьке значення гідрравлічного опору, знижені середньорічні витрати при експлуатації трубопроводів, підвищення продуктивності праці при виготовленні її 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 °С.

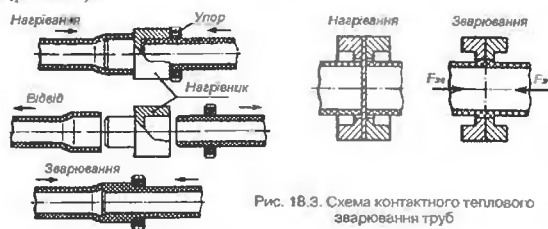
Труби й деталі із термопластів мають розміри по зовнішньому діаметру 10–360 мм, причому зовнішній діаметр не змінюється з товщиною стінок. Залежно від робочого тиску труби із поліетилену випускають чотирьох типів: легкий (на тиск до 0,25 МПа), середньолегкий (до 0,4), середній (до 0,6) і важкий (до 1 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:

- точного центрування кінців труб, зміщення кромки не повинне перевищувати 10% товщини стінки труби;
- механічної обробки кромки з метою видалення окиснених і забруднених шарів матеріалу, забезпечення паралельності кромки;

- оплавлення кромки нагрівачем. Температура і час оплавлення залежить від матеріалу, геометричних параметрів труб;
- видалення нагрівача та осадки;
- витримування після охолодження для забезпечення вистигання кромки під тиском, запобігаючи зниженню якості стику при протіканні релаксаційних процесів.

Схема контактної теплової зварювання труб зображена на (рис. 18.3).



При контактному зварюванні труб уроструб одночасно оплавляється внутрішня поверхня роструба і зовнішня поверхня кінця труби. Після оплавлення на задану глибину, кінець труби швидко всувається в роструб. Зварювання вроструб виконується на таких же умовах, що й стикує. Але в цьому випадку нагрівач складається з двох елементів: гільзи для оплавлення кінця труби і дорня для оплавлення внутрішньої поверхні роструба. Дорні і роструби можуть мати циліндричну або конічну поверхню. Різниця між діаметром гільзи й дорня циліндричного інструмента повинна становити 0,5–1 мм. Ориєнтовані режими контактної зварювання труб наведено в табл. 18.2.

Таблиця 18.2
 Основні технологічні параметри зварювання вроструб поліетилену

Показник	Поліетилен низької щільності з циліндричними поверхнями	Поліетилен високої щільності з конічними поверхнями
Температура зварювання, °С	300 ± 20	250–270
Час оплавлення, 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 осьовим навантаженням до часткового твердіння оплавляемого матеріалу становить 5–15 с.

Зварювання газовим теплоносієм з присадковим матеріалом (рис. 18.4) застосовується для виготовлення динамічного обладнання, трубопроводів та ємкостей із вінілпласту 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 корінь розробки із зворотного боку, запобігаючи цим непервару. 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 цим швидкість зварювання і тиск на присадковий пруток.

Технологічні прийоми, що використовуються при дуговому зварюванні металів, можна застосовувати й при цьому способі зварювання пластмас. При зварюванні газовим теплоносієм тепло на зварні поверхні подається нагрітим струменем газу, повітря. Зварювання може виконуватись з присадкою та без неї. Присадка — це прутки круглого перерізу ($\Phi 2 - 6$ мм), а при зварюванні півдок — стрічки шириною 10–15 мм. До складу присадки входить 3–10% пластифікатора. Жорсткі пластини товщиною до 2 мм зварюють без розробки кромки і без зазору. Пластини більших товщин зварюють із розробкою кромки (кут — $45 - 70^\circ$, зазор — $0,5 - 1,5$ мм).

Цим способом з'єднують шлівки з поліаміду, поліетилену низької щільності і поліетилентерфталата (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 вус» під кутом $20 - 25^\circ$.

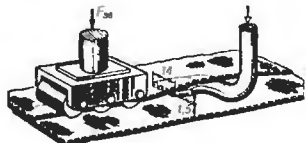


Рис. 18.5. Схема механізованого неперервного зварювання шлівки газовим теплоносієм

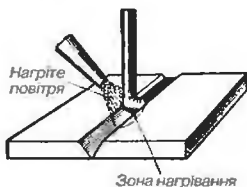


Рис. 18.4. Схема ручного зварювання газовим теплоносієм із присадковим матеріалом

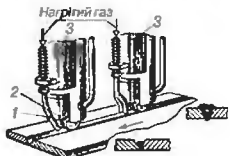


Рис. 18.6. Загальний вигляд механізованого зварювального вузла і зварювальної головки:
1 — сопло; 2 — присадковий матеріал; 3 — зварювальна головка

Часом конструкція виробу дозволяє зварювати пластмаси без присадкового матеріалу шляхом розм'якшення і стикування кромки деталей, напругового з'єднання (рис. 18.7).

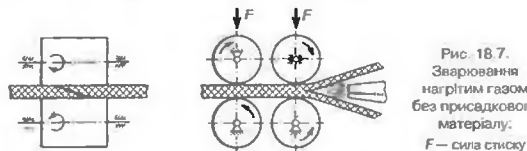


Рис. 18.7. Зварювання нагрітим газом без присадкового матеріалу.
F — сила стиску

Газовий струмінь при температурі $250 - 300^\circ\text{C}$ нагріває зрізані кромки. Швидкість зварювання становить 30–50 м/год; міцність зварних швів — 80–90% міцності основного матеріалу.

Зварювання екструдованою присадкою виходить 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 нагріте сопло може торкатися кромки, додатково нагріваючи їх. Це й є контакт-екструзійне зварювання (рис. 18.8).

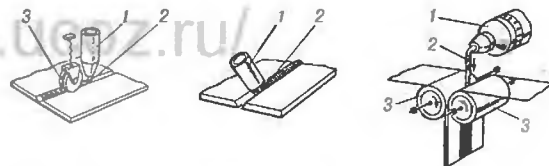


Рис. 18.8. Схема зварювання термопластів екструдованою присадкою:
1 — екструдер; 2 — розплавлений матеріал; 3 — рамка

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 обтіканні шва рамками.

Зварювання екструдованою присадкою проходить при заповненні розробки розплавленим матеріалом 2, який безперервно подається з екструдера 1. Матеріал нагріває з'єднувальні поверхні та, сплаваючись з ними, утворює зварний шов. Надійні з'єднання утворюються при обтіканні шва рамками 3.

Високочастотне зварювання здійснюється у змінному електромагнітному полі високої частоти. З цією метою зварні деталі розміщують між пластинами конденсатора, на які подається напруга високої частоти.

Високочастотне зварювання застосоване на нагріві термопластів змінним електричним полем за рахунок зміни поляризації макромолекул. Електричне поле вводиться в зварювальний матеріал 2 електродами 1 і 3 (рис. 18.9). У випадку зварювання з одночасним розриванням матеріалу (рис. 18.9 б) на нижньому електроді встановлюється ізолююча прокладка 4. Цим способом добре зварюються тільки поліарні пластмаси (полівінілхлорид, поліаміди, полівінілацетат, поліакрилін, полівінілденхлорид) товщиною від 0,3 до 4 мм. Інтенсивність теплоутворення при високочастотному зварюванні може бути підвищена за рахунок збільшення частоти або напруги. Але щоб не допустити пробоя зварного пакету напруга на конденсаторі не повинна перевищувати 60–70% пробійної напруги матеріалу.

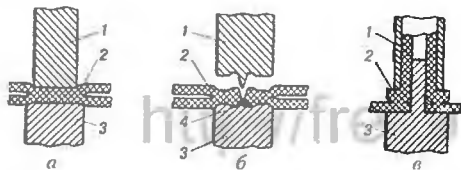


Рис. 18.9. Електроди для одержання зварних швів струмами високої частоти:

а — плоского; б — фігурного з розриванням матеріалу; в — кільцевого; 1, 3 — електроди; 2 — зварювальний матеріал; 4 — ізолююча прокладка

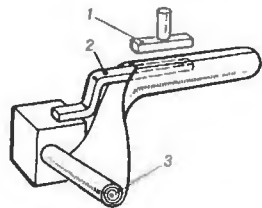


Рис. 18.10. Схема зварювання струмами високої частоти рукавів і шлангів із глянці подовжнім швом: 1, 2 — електроди; 3 — рулон

Частота струму визначається характеристикою генератора й фізичними властивостями матеріалу.

Час зварювання залежить від довжини шва і товщини матеріалу.

Рукави і шланги можна зварювати неперервним напуском зовнішнім швом кроковим способом, подаючи матеріал із рулону 3 до електродів 1 і 2. Довжина кроку дорівнює довжині верхнього електрода 1 (рис. 8.10).

Для зварювання стіvek труб застосовують кільцеві електроди (рис. 18.11).

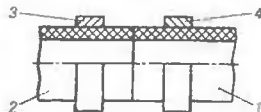


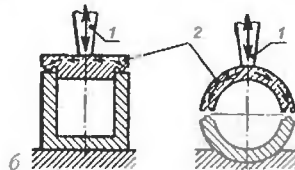
Рис. 18.11. Схема зварювання поперечної стика труб струмами високої частоти; 1, 2 — стіки труб; 3, 4 — електроди

Ультразвукове зварювання пластмас проводиться шляхом нагрівання при введенні механічних коливань ультразвукової частоти (20–50 кГц). Зварювання може здійснюватися ковзаючим інструментом і нерухомих інструментом у близькому полі — контактне (рис. 18.12 а) або в дальньому полі — дистанційне, або передавальне (рис. 18.12 б).



Рис. 18.12. Схема ультразвукового зварювання:

а — контактне; б — передавальне; 1 — хвилевод точковий; 2 і 3 — зварювальний матеріал



Контактне зварювання застосовується для з'єднання м'яких термопластів (поліетилену та інших) невеликої товщини (до 5 мм). Передавальне зварювання застосовується для виготовлення швів стикових і таврових з'єднань, при збиранні об'ємних деталей із жорстких термопластів (полістиролу, поліметилметакрилату, полікарбонату).

Зварювання ведеться на частотах 20–50 кГц, які створюються електричним генератором.

За допомогою ультразвуку можна з'єднувати пластмаси з металом.

Тертям зварюють такі ж з'єднання, як при зварюванні металів. Фігурні фаски на торцях труб (рис. 18.13) забезпечують змичення кромки, які знижують працездатність зварних стиків.

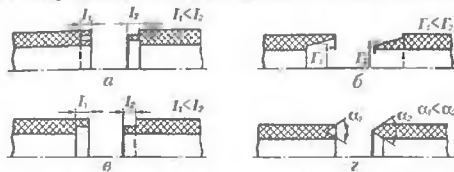


Рис. 18.13. Конструкції розробки кромки труб під зварювання тертям:
а-г — фігурні фаски на кінці труб

Зварювання вібротертям шляхом відносних переміщень деталей з частотою до 100 Гц і амплітудою до декількох міліметрів дозволяє зварювати деталі різної форми.

Зварювання променем лазера ефективне при з'єднанні полімерних плівок (рис. 18.14). Промінь лазера 2, який вийшов з оптичного квантового генератора 1, відбивається від відхилаючого дзеркала 3, фокусується лінзою 4 і здійснює зварювання плівки 7, яка переміщується транспортуючим роликом 6 і притискним роликом 5.

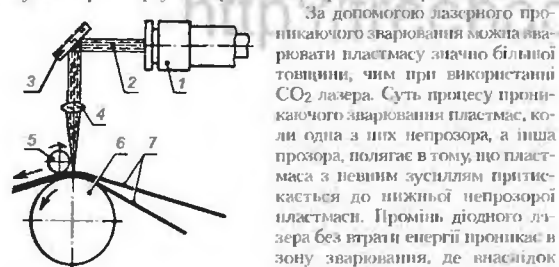


Рис. 18.14. Схема зварювання плівки променем лазера:

1 — генератор, 2 — лазер; 3 — дзеркало; 4 — лінза; 5 — притискний ролик; 6 — транспортуючий ролик; 7 — плівка

У якості поглиначки лазерного проміння при зварюванні пластмас використовували сажу, якою збруднювали зварне з'єднання. В лазерному проникаючому зварюванні використовують безколірне

поглинаюче середовище, що ліквідує будь-яке збруднення. Інфрачервоне поглинаюче середовище дозволяє зробити зварний шов прозорих пластмас практично невидимим.

Лазерне зварювання пластмас потребує значних періодичних витрат. Але такі переваги лазерного зварювання, як можливість керування потужністю лазерного проміння в процесі зварювання, точність наведення лазерного проміння, висока якість зварного з'єднання та екологічна безпека швидко відшкодовують ці витрати.

Високошвидкісне проникаюче лазерне зварювання особливо ефективне при зварюванні термопластичних плівок унаступок, наприклад, у пакувальній промисловості. Виняється можливість застосування його в біології, медицині, при зварюванні водонепроникної тканини.

18.4.2. Застосування зварювання пластмас при газифікації

Темпи робіт з газифікації сільських помешкань можна значно прискорити, якщо для розвідних газопроводів застосувати сталеві труби 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 оперують значно економію коштів, оскільки при застосуванні таких труб не потрібні нафтобитуми, крафтпіп, скловолокно та електрика. Через це в західних країнах розвідні газопроводи в 85–90% випадків будують із поліетиленових труб. За кордоном поліетиленові труби застосовують також при реконструкції сталевих газопроводів, які відслужили 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 постачатися у прямих відрітках, бухтах і котушках. Труби виготовляються із композицій поліетилену з мінімальною міцністю 0,8 МПа. Виготовлення труб із вторинного поліетилену не допускається. Максимальний робочий тиск у газопроводі розраховують із урахуванням коефіцієнта запасу міцності, який вибирають із урахуванням умов експлуатації. Оптимальні способи зварювання залежать від зовнішнього діаметра труби (табл. 183).

Таблиця 183

Залежність способу зварювання від номінального діаметра труби

Номінальний зовнішній діаметр, мм	Спосіб зварювання
20–225	Терморезисторне зварювання
20–110	Зварювання нагрітим інструментом уроструб
63–225	Зварювання нагрітим інструментом устїк

Контрольні запитання та завдання

1. На які труби поділяються пластмаси?
2. У чому суть зварювання плавильним 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 газоним пластмасом.
8. Охарактеризуйте особливості зварювання пластмас екструдованою 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. Виберть спосіб зварювання для терморезистивних пластмас.
14. Виберть час охолодження і температуру зварювання для поліетилену високої щільності.

19.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАПЛАВЛЕННЯ

Наплавленням називається процес занесення 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- й кислотостійкістю, антифрикційністю та ін. Використання наплавлення знижує витрати дорогих і дефіцитних легуваних сталей, спеціальних сплавів, підвищує надійність і терміни роботи машин (механізмів).

Використовується ручне дугове наплавлення планками й нетлавкими електродами; автоматичне та напівавтоматичне 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 напавленні 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 напавленого шару одержують введенням до його складу легуючих елементів. Легування виконують за рахунок взаємодії металу та шлаку, полігнаними елементами із навколишнього газового середовища, введенням у зварну ванну металевих добавок. Найважливішим при напавленні є одержання однорідного хімічного складу напавленого металу та заданих властивостей виробу.

Механізоване напавлення 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 напавленого виробу.

19.2. НАПЛАВЛЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

За способом виробництва матеріали для напавлення поділяють на покриті електроди, наплавлювальні судильні дроти й стрічки, флюси, порошкові дроти та стрічки, прутки й зернисті (порошкоподібні)

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 наплавлюваний 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 НРС. Застосування, режими наплавлення та характеристика покритих електродів наведені в табл. 19.1.

Таблиця 19.1

Характеристика покритих електродів для наплавлення

Марка електрода	Твердість наплавлення, НРС	Призначення електродів	Режими наплавлення (діаметр електрода, мм; струм, А; полярність)
ОЗН-250	22-25	Кінці рейок, вагонні та авто-тракторні деталі, вали осі	Ø 4, 170-200 Ø 5, 210-240 Постійний струм зворотної полярності
ОЗН-300	24-32	Залізничні хрестовини, вагонні, автотракторні деталі та ін.	Ø 4, 170-200 Ø 5, 210-240
ОЗН-350	26-37	Залізничні хрестовини, вагонні, автотракторні деталі тощо	Ø 4, 170-200 Ø 5, 210-240
ОЗН-450	37-40	Швидкообрацьовувані 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 (щокі дробилок, лопатки та колеса землевсюжтових катків)	Ø 4, 200-220 Ø 5, 250-270 Змінний і постійний струм
T-620	58-59	Швидкообрацьовувані деталі із сталі й чавуну, що працюють в умовах сильного стирання та ударних навантажень (щокі дробилок, зуби копів екскаваторів)	Ø 4, 200-220 Ø 5, 250-270 Постійний струм
ОЗН-1	54-55 (після наплавлення) 50-60 (після термодробинки)	Ріжучий інструмент і штампи	Ø 3, 80-110 Ø 4, 120-150 Ø 5, 160-200

Примітка. Наплавлення електродами виконують у нижньому положенні, T-590 — у нижньому й похилому.

Порошковим дротом наплавляють вироби під флюсом, у захисних газах 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 вибирають струми меншої величини ніж для зварювання. При цьому глибина проплавлення металу виробу зникає, а наплавлюваний метал менше переміщується з основним і твердість наплавленого шару зростає.

Для наплавлення в середовищі аргону і газокисневим полум'ям використовують прутки 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, НРС	Застосування	Примітка
Литі тверді сплави у вигляді прутків	Стеліт ВЗК, ВЗК	Сплав вольфраму та хрому, зв'язаний кобальтом і залізом	46-48 42-43	Деталі, що працюють при високих температурах	
	Сормайт 2, Сормайт С27 (взаємін сормайту 1)	Сплав карбиду хрому з залізом і нікелем (до 5%)	40-45 59-54	Деталі, що працюють при нормальних і підвищених температурах	Замінники стеліту, але більш крихкі
Твердий сплав у вигляді трубчастого стрижня	Рейт Т3	Т р у б к а (Ø 6×0,5 мм) з низьковуглецевої сталі, зв'язаний в дробляком карбідів вольфраму	85	Буровий інструмент і деталі, що працюють в умовах сильного абразивного стирання	При наплавленні розплавляється, стає лва оболонка, дробинки вварюються в наплавлений шар з карбиду вольфраму (85%) і заліза (15%)
Метало-керамічні тверді сплави у вигляді пластин	ВК, ТК, ТТК «побелит»	К а р б і д н вольфраму, титану, танталу, зв'язаний кобальтом і залізом	86-91	Для металоріжучого інструмента	Пластини паяють до основи за допомогою відновлювального припою, щоб уникнути перегрівання

Для наплавлення також використовують спеціальні зернисті (порошкоподібні) сплави:

Вокар – зерниста суміш подрібненого вольфраму і вуглецю, використовується для наплавлення бурового інструмента. Твердість першого шару становить 50–58 НРС, другого – 61–63 НРС.

Вісхом складається з 5% ферохрому, 15 феромарганцю, 74 частини стружки і 6% графіту. Використовується для наплавлення лемехів, дисків, зубів та інших деталей сільськогосподарських машин. Твердість наплавлення становить 250–320 НВ.

Боридна порошкова суміш БХ складається з 50% боридів хрому і 50% залізного порошку. Твердість наплавленого шару становить 82–84 НРА.

Карбідно-боридна порошкова суміш КБХ (5% хрому, 5 бориду хрому, 60 ферохрому, 30% залізного порошку).

Спалит М складається з порошків вуглецевого ферохрому, феромарганцю, ніфрового коксу з чавунною стружкою. Використовують для наплавлення конців екскаваторів, ножів бульдозерів тощо. Твердість наплавленого шару становить 52 НРС. 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 наплавляють під флюсом марки АП-26, високохромисті чавуни – АП-28. Електрошлакове наплавлення виконують із флюсами АП-8, АП-25. Наплавлення коліс мостових кранів, опорних котків і роликів гусеничних тракторів виконують із керамічним флюсом АНК-18. Робочі поверхні бульдозерів, грейдерів наплавляють із флюсом АПК-19.

19.3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛАМИ РІЗНИХ ТИПІВ

19.3.1. Наплавлення нелегованих і низьколегованих сталей

Целеговані й низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,4% використовують для відновлення розмірів деталей або нанесення проміжного шару. Якщо наплавлення виконують ставками 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 вліт електрода, нахилиють електрод кутом уперед, виконують наплавлення на стуск, застосовують наплавлювальні стрічки, багатоелектродне наплавлення і попередній підігрів.

Для наплавлення масивних деталей використовують підігрів до 200–250°C, а при наплавленні невеликих деталей достатньо теплоізолювати дуги (автопідігрів).

Целеговані та низьколеговані сталі з вмістом вуглецю понад 0,4% призначені для наплавлення кількісних валив, ножів, штамтів 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 низьковуглецевої сталі дротом Св-08, Св-08 ГС та ін. Після наплавлення забезпечують повільне охолодження.

Якщо наплавлена деталь підлягає механічній обробці, то її відналяють. При цьому твердість знижується до 20–25 НРС. Після механічної обробки виконують гартування; твердість наплавленого металу збільшується до 50–60 НРС.

19.3.2. Наплавлення теплостійких інструментальних сталей

Теплостійкі інструментальні сталі (хромовольфрамові, хромо-молібденові) наплавляють на деталі, що піддаються впливу великих тисків і змін температури. Для запобігання утворенню тріщин, зниження залишкових напружень і одержання 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 швидкокорозійних сталей

Швидкокорозійні сталі використовують для наплавлення різального інструменту. Трудністю 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 червоноламокості метал додатково легують.

19.3.4. Наплавлення корозійостійких сталей

Корозійостійкі хромисті сталі з вмістом вуглецю до 0,2% використовують для наплавлення арматури, роликів машин, плунжерів гідропресів і штамтів деяких видів. При вмісті вуглецю понад 0,2%

наплавлений метал схильний до утворення тріщин. Тому при наплавленні виконують попередній, а для масивних деталей – су-пронийний підігрів до температури вище 350°C.

У сталей X12, X12M, X12BF холодні 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 великими ударами. Найпоширенішою є сталь Гадфілда 110Г13Л. При охолодженні з високою швидкістю від температури вище 950°C сталі, які містять 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 Пп-Г13А (наплавлення під флюсом) і самозакисний порошковий дріт ПП-Пп-90Г13П4. Для зменшення дефектів при наплавленні високомарганцевих сталей на вуглецеві сталі рекомендують проміжний шар наплавляти 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 проміжного шару, застосовують технологічні прийоми, що обмежують проплавлення основного металу.

Для боротьби з міккристалітною корозією в наплавленому металі обмежують вміст вуглецю на рівні 0,02–0,03% або легують його титаном, ніобієм, зв'язуючи вуглець у міцні карбиди цих елементів. Для запобігання виникненню кристалізаційних тріщин обмежують вміст сірки, фосфору, кремнію, частину нікелю замінюють марганцем, додатково легують азотом, молібденом, вольфрамом, використовуючи дроти Св-08Х20Н10Г6, Св-10Х16Н125АМ6 та електроди ЭА-395/9.

19.3.7. Наплавлення високохромистих чавунів

Високохромисті чавуни використовують для підвищення довговічності деталей, які підлягають газо- та гідроабразивному спрацюванню. Легування високохромистого чавуну бором підвищує стійкість проти спрацювання, але знижує опір ударним навантаженням.

Наплавлений метал схильний до утворення холодних тріщин, які не переходять в основний метал і майже не впливають на абразивне спрацювання. Неподступним є розгашування тріщин вадкою потоку гідро- і газоабразивних 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 жаростійкі нікелеві сплави, легувані хромом і молібденом, мають високу жароміцність, стійкість проти термічної втоми, майже не схильні до утворення тріщин. Для наплавлення сплави використовують у вигляді порошоків для плазмового наплавлення та у вигляді дроту для наплавлення у захисних газах і під флюсом. Якщо в якості основного металу використовують зашартовані 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 інкель.

Нікелеві сплави легувані хромом, бором, кремнієм (колмоної) мають високу стійкість проти різних агресивних середовищ, стійкість проти утворення задирок, 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, корозійностійкість, стійкість проти спрацювання при терті металів без мащення, здатність зберігати твердість при високих температурах. Наплавляючий метал схильний до утворення гарячих і холодних тріщин, тому наплавлення виконують із попереднім підігрівом до температури 600–700°C, а в масивних деталях застосовують супровідний підігрів. Після наплавлення забезпечують повільне охолодження. Стеліти використовують у вигляді порошків, прутків і покритих електродів. Найкращий результат одержують при плазмо-порошковому напавленні, при якому основний метал в напавленому стані витратить 5–7%. При напавленні покритими електродами частка основного металу в напавленому сягає 30%, а необхідний хімічний склад одержують тільки в третьому або четвертому шарі. Це збільшує витрати дорогого напавляючого металу.

19.3.10. Аргонодугове напавлення прутками із сплаву сормайт

Присаджувальні прутки із сплаву сормайт мають такі умовні позначення: Pr-C1 (тип PrH-Y39X28HIC3), Pr-C27 (тип PrH-Y45X28H2CBM) ГОСТ 21449-75. Вони призначені для ацетилено-кисневого або дугового напавлення напавляючим електродом деталей, які працюють в умовах абразивного спрацювання.

Перед напавленням поверхню деталі детально очищають від окалини та забрудлень. Установлюють у горизонтальне положення та виконують попередній підігрів до 400–500°C в печах або пальниках. Аргонодугове напавлення виконують на постійному струмі прямої полярності при кінцевому заточуванні вольфрамового електрода і витратах газу 6–8 л/хв. Напавлення деталей малих і середніх розмірів виконують лівим способом. Деталі великих розмірів для досягнення високої швидкості процесу напавляють правим способом — зліва направо. Дотильно наносити вузькі валики або валики шириною 2–3 діаметра присаджувального прутка. Падає велика амплітуда коливань призводить до утворення пор. Охолодження напавлених деталей необхідно виконувати в печах, методом накривання азбестовою тканиною або у піску. Твердість напавлення дугою в середовищі аргону нижча, ніж твердість при напавленні ацетиленокисневим полум'ям.

Сплави на основі карбідів вольфраму або хрому забезпечують високу стійкість в умовах абразивного спрацювання. Технологія й техніка напавлення сплавів на основі карбідів повинна забезпечувати їх мінімальну розчинність в основному металі. Застосовують індукційне, газове, дугове та пічне напавлення. Широко викорис-

товується напавлення литим карбідом вольфраму (релітом). Для напавлення використовують реліт у вигляді зерен різного розміру (реліт-3), у вигляді сталевих трубок, заповнених релітом (реліт-Т3), у вигляді сталевий стрічки, заповненої релітом (реліт АП-ЛЗ).

19.3.11. Напавлення срібла

Через низьку міцність і з метою економії срібло часто використовують в якості плакованого корозійостійкого шару. Срібло, напавлене безпосередньо на сталь, погано з нею зчеплюється. На дині сплавлення спостерігається велика кількість пор, можливе виникнення тріщин у сталевому шарі. Тому рекомендують проміжне напавлення нікелем, міддю або сплавом на їх основі. Прокеровування напавленого шару в гарячому стані дозволяє ушілювати й підвищити пластичність, знизити напрути.

При аргонодуговому напавленні срібла на сталь використовують флюс такого складу: 30–35% тетрафтороборату калію, 35–40% кріоліту, 20–25 фтористого натрію, 5–10% хлористого натрію. При напавленні з флюсом міцність з'єднання підвищується: при напавленні без флюсу вона становить 29,4–39,2 МПа, при напавленні з флюсом — 98,1–137,3 МПа.

19.4. ТЕХНІКА НАПАВЛЕННЯ

Продуктивність напавлення — це найбільша кількість напавленого металу за одиницю часу. Вона залежить від способу виконання напавлення і становить, кг/год:

- 0,8–3 при напавляванні покритими електродами;
- 1,5–8 у вуглекислому газі;
- 2–15 при автоматичному напавляванні під флюсом;
- 5–30 при автоматичному напавляванні під флюсом стрічкою;
- 2–9 самозахисним порошковим дротом;
- 10–20 порошковою стрічкою;
- 2–12 при плазмовому напавленні;
- 1,2–3 при вібродуговому напавленні;
- 20–60 при електрошлаковому напавленні дрютяними електродами;
- до 150 при електроншлаковому напавленні електродом великого періоду.

Техніка напавлення дротом передбачає накладання штикових валиків із перекриттям попереднього валика на 1/3 його ширини або валиків із поперечними коливаннями електрода. Напавлення можна виконувати штиковими валиками на деякій відстані одні від

одного, а після виділення шлаку наплавити валки у вільних ороміаках. Плоскі поверхні наплавляють широкими валками з використанням коливальних рухів електроду.

Наплавлення тл обертання виконують вздовж осі або коловими рухами (валками) за гвинтовою лінією. Наплавлення за гвинтовою лінією виконують при діаметрі деталей не більше 100 мм. При напавленні покритими електродами вісь деталей розміщують горизонтально, а при напавленні напівавтоматом — вертикально.

При напавленні зернистих порошоків використовують вугільний електрод. Поверхню виробу очищають від іржі, масла та бруду. На поверхню насипають тонкий шар (0,2–0,3 мм) бури (флюсу) і шар шихти (порошку) сплаву висотою 2–7 мм і шириною 30–40 мм. Насипаний шар вирівнюють і ущільнюють. Наплавлення вугільною дугою виконують на постійному струмі прямої полярності або змінним струмом з осцилятором. Рівної 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 викривувань, не повинна перевищувати 5–6 мм для сталі, 3–4 для вокару, 1,4–1,7 мм для боридної суміші. Порошкоподібні сплави можна наплавляти й металевими електродами, але твердість напавлення знизиться.

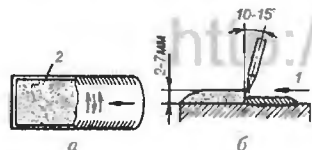


Рис. 19.1. Положення вугільного електрода при напавленні порошокодібних твердих сплавів:

а — переміщення електрода; б — вид з боку; 1 — (стрілка) загальний напрямок напавлення; 2 — шар шихти (порошку)

Для ручного напавлення використовують трубчасті електроди з порошкового дроту. Для зменшення деформацій і напрут після напавлення застосовують проковування. Напавлення повинне забезпечувати якісне формування напавленого шару, щоб зменшити припуски на механічну обробку.

19.5. ВИДИ НАПАВЛЕННЯ

Наплавлення виконують ручними та механізованими способами. З механізованих способів найчастіше використовують напавлення під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, відкритою дугою, вібродугою та електроімпульсною струмами високої частоти, електрошлакове й спеціальні способи напавлення кольорових і композиційних сплавів.

Ручне дугове напавлення використовують при відновленні спрацьбованих поверхонь, браку лиття, для напавлення поверхонь із спеціальними властивостями. Ручне дугове напавлення виконують покритими плавкими та неплавкими електродами. При напавленні плавким електродом поверхню детально захищають і виконують напавлення окремими валками. Кожен наступний валок повинен розплавляти попередній на 1/3–1/2 його ширини. Підбирають електроди, враховуючи умови експлуатації виробу.

Порошкові суміші наплавляють вугільним (графітовим) електродом на постійному струмі прямої полярності. Дугу збуджують на основному металі, потім переносять на шихту, яка розплавляється з мінімальним проплавленням 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, неіржавіючих та інших сталей і кольорових металів. Вуглекислий газ використовують для напавлення вуглецевих і деяких легованих сталей. Автоматичне напавлення в середовищі CO_2 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 присадкувального дроту спеціального складу.

Напавлення плавким електродом в інертних газах призводить до підвищеного вмісту основного металу в напавленому. Тому часто використовують додатковий присадкувальний дріт. Такий спосіб застосовують при напавленні високолегованих хромонікелевих сталей і сплавів.

Автоматичне напавлення під флюсом виконують сталевим зварювальним дротом, порошковим дротом, стрічковим електродом, порошковою стрічкою, під плавленням або керамічними флюсами. Напавлення можна виконувати одним електродом окремими валками, одночасно декількома електродами й електродною стрічкою. Використовують стрічки суцільного перерізу та порошоків.

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

Режими автоматичного наплавлення під флюсом

Діаметр електродного дроту, розміри стрічки, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість наплавлення, м/год
<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>Суцільна електродна стрічка</i>			
60×0,5	500–800	24–28	10–20
100×0,5	800–1000	30–34	

Найпоширенішими способами є наплавлення розчепленою 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 шару нанесеного легуючого матеріалу;
- із струмоведучим присаджувальним 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 зносостійкими шарами. В якості присаджувальних матеріалів використовують дроти, стрічки, пластини або стрічки різних розмірів, виходячи із розмірів і форми наплавлюваної поверхні. Техніка електрошлакового наплавлення принципово не відрізняється від техніки зварювання.

Вібродугове наплавлення є різновидністю дугового наплавлення металевим електродом. Його використовують для відновлення швидкозношуваних деталей машин і механізмів. Вібруючий електрод, зумовлюючи багаторазові короткі замикання зварювального кола, покращує стабільність процесу за рахунок частіх збуджень дугових розрядів у моменти розривання кола і сприяє перенесенню електродного металу малими порціями. Це дозволяє проплавлювати

метал на невелику глибину та наплавлювати деталі малого діаметра. Амплітуда вібрації електродного дроту становить 0,75–1,0 діаметра електрода.

Наплавлення струмами високої частоти проходить за рахунок електромагнітного поля, що створюється в індукторі, до якого підводиться струм від високочастотного генератора. Для наплавлення використовують матеріал у вигляді пасти або суміші порошкоподібного матеріалу з флюсом (бурою). До переваг високочастотного наплавлення належать низьке нагрівання та невелика глибина проплавлення основного металу, висока продуктивність і великі можливості автоматизації.

Для відновлення розмірів деталей використовують електричну металізацію — тонке покриття поверхонь деталей різними хімічними елементами.

19.6. ГАЗОТЕРМІЧНЕ НАПИЛЕННЯ

Газотермічним напиленням називають процес нанесення покриття, оснований на нагріванні матеріалу до рідкого стану і розпилюванні його на поверхні виробу газовим струменем. Використовують газополум'яне і газоелектричне напилення, де в якості напилювального матеріалу застосовують дроти, стрічки й порошки. Недоліком газополум'яного напилення є низька якість покриття, зумовлена низькою температурою полум'я, низькою швидкістю перенесення частинок і великим висотом оксидів у покритті. Вищу якість й простоту керування забезпечує газоелектричне напилення.

Суть електрометалізаційного напилення полягає в плавленні дроту електричною дугою і розпилюванні розплавленого металу стисненим повітрям (рис. 19.2 а). Розпилювання стисненим повітрям призводить до значного вигорання компонентів та їх окиснення.

Високочастотні металізатори відносяться до апаратів дротяного типу. Нагрівання дроту здійснюють струмом високої частоти. В якості джерела живлення використовують лампові генератори струмів високої частоти (70–500 кГц). Схема розпилювальної головки зображена на рис. 19.2 б. Продуктивність високочастотних



Рис. 19.2. Схема електрометалізаційного напилення:

а — електродугової; б — високо-частотної; 1, 3 — напилювальний дріт; 2 — стиснене повітря; 4 — індуктор; 5 — металізаційний факел

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

металізаторів в 1,5–2,5 рази вища продуктивності електрометалізаційних. Недоліком цього способу є низький к.к.д. установок і відносно низька швидкість зчеплення і шлікувального металу з основним.

Високопродуктивним способом нанесення покриття є плазмове напильня, яке використовують для нанесення різних металів і сплавів із метою захисту деталей від спрацювання, корозії, ерозії, теплових ударів тощо. Напильні покриття мають міцне зчеплення з основним металом, високу щільність і гладку поверхню. В якості плазмотворюючих газів використовують аргон, азот, гелій і суміші аргону з воднем та іншими газами. Напильні матеріали виготовляють у вигляді порошку або дроту. Використовують гранульовані порошки розмірами 5–100 мкм, які для підвищення спінючості просушують при температурі 70–200°C протягом 2 год. Критерієм задовільного зчеплення є якісна підготовка поверхні основного металу травленням, піскоструминною, тривичною й механічною обробкою. Напильня виконують за один прохід плазмотрона із швидкістю, яка забезпечує одержання товщини 15–100 мкм. Схема плазмового напильня зображена на рис. 19.3.

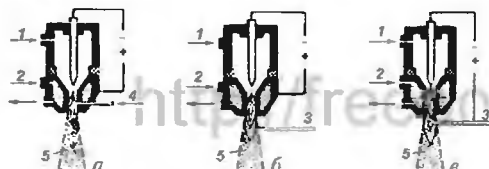


Рис. 19.3. Схема плазмового напильня:

а — подача напильного матеріалу в плазмовий струмінь через сопло; б — подача напильного матеріалу за допомогою дальною плазмотрона; в — плазмова металізація дротом залежної дуги; 1 — подача газу; 2 — подача води; 3 — електродний дріт; 4 — подача порошку

Контрольні запитання та завдання

1. Що називають напильнянням?
2. Для чого використовують напильняння?
3. Охарактеризуйте особливості напильняння.
4. Якими матеріалами виконують напильняння?
5. Охарактеризуйте покриття електроди для напильняння.
6. Які особливості техніки напильняння?
7. Що називають продуктивністю напильняння?
8. Які є види напильняння?
9. Яким чином виконують напильняння струмами високої частоти?
10. У чому суть виробничого напильняння?

20.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У всіх галузях народного господарства широко застосовуються конструкції різного роду й призначення. Вони відрізняються розмірами, конфігурацією, принципами дії, способом виготовлення. Конструкції виготовляються за допомогою різних технологічних процесів. Тому вони можуть бути литими, кованими, точеними, клесеними, штампованими, зварними, а також комбінованими — класозварними, штампованими тощо.

До зварних відносять конструкції, нероз'єднані з'єднання яких виконуються за допомогою зварювання. Отже, зварними конструкціями є сітка радіолампи, кабіна автомобіля, корпус балістичної ракети, кожух доменної печі, літак АН «Русланд».

Конструкції можна класифікувати за цільовим призначенням (будівельні, суднові, авіаційні), за матеріалами (сталеві, алюмінієві, пластмасові), за характером навантаження та умовами експлуатації.

Зварні конструкції класифікуються за наступними категоріями (групами):

балки — конструктивні елементи, що працюють на поперечній згин, з'єднані між собою жорстко та утворюють рівні конструкції;

колонни — елементи конструкції, які працюють на стиск або стіск з поодвожнім згином;

решітчасті конструкції — система стержнів, яка працює на розтяг або стіск, і жорстко з'єднаних між собою у вузлах. До них відносяться: ферми, зв'язуючі, опори транспортів, цюгли лінійних електропередач, сітки арматури залізобетону та ін.;

оболонкові конструкції — рівноманітні смкості, 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 багатоциклових навантаженнях (стантини, 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 допготовлення і монтаж здійснюється відповідними організаціями.

Трубопроводи різних призначень виділені 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 будинків, які є основним видом конструкцій, що виготовляються на заводах; суцільностійові листові конструкції; щогли й опори; 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 огорожувальних конструкцій. Останні не несуть основних навантажень, а тільки «огорожують» (захисають) внутрішні приміщення будівель. До них відносяться панелі, вітражі, вікони, цермички, ворота тощо.

До суцільностійових листових конструкцій відносяться різні емкості й зварні конструкції, основними з яких є резервуари всіх типів (вертикальні зварні РВЗ, ізометричні, траншейні й горизонтальні зварні РГЗ, а також газгольдери 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 щогли, 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.

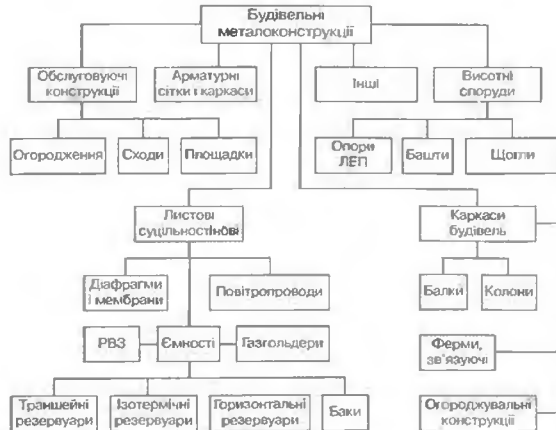


Рис. 20.2. Класифікація будівельних металевих конструкцій

До самостійної групи виділено 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 емкості конструкцій, серед яких можна виділити декілька підгруп: посудини й апарати (котли, емкості та обладнання спеціального призначення). Посудини (в основному, цукротілі) й апарати (з внутрішніми пристроями) працюють під тиском. Вони, як і котли, підвдоччі Держпромгазмоннагляду. Емкості мають різну місткість (від часток до сотень кубометрів) і призначення (лекомозери, склади сировини та готової продукції, відстійники тощо). До обладнання спеціального призначення віднесено печі (в т. ч. обертові), конвертори, міксери та інше аналогічне обладнання.

До групи різних конструкцій відносяться рами під обладнання (насоси, компресори, привідні й витяжні станції тощо), а також так звані етажеркові (опорні) конструкції, на яких встановлюються 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 машинобудівних 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.

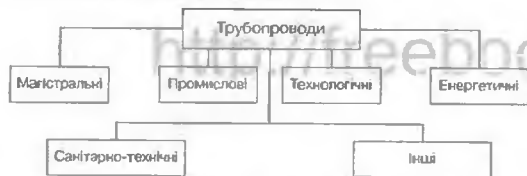


Рис. 20.4. Класифікація трубопроводів

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 поздовжній 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 виходу 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 захисних багатошарових панелей типу «Сендвіч». У машинобудівній промисловості пластмаси в основному застосовуються при виготовленні емностей для збирання 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 працездатності зварних конструкцій необхідно враховувати ряд вимог. На першому місці здатність зварної конструкції значно впливають використані зварювальні матеріали. При чому вони впливають не тільки на експлуатаційні властивості конструкції, але й визначають її вартість 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. Паяність концентраторів напружень у зварних з'єднаннях у процесі експлуатації конструкції може призвести до зниження або втрати пластичних властивостей та руйнування конструкції. Температура дія на зварні кропки 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.

Процес зварювання внаслідок нерівномірного охолодження викликає утворення зварювальних напружень і деформацій. Тому для кожної конструкції необхідно вибрати такі процеси зварювання й технологічні прийоми, які забезпечували б утворення мінімальних напружень і деформацій.

Промислові підприємства та складні цивільні будівлі й споруди проектуються в дві стадії — технічний проект і робочі креслення.

У процесі експертизи проектів вирішують ся наступні завдання: зниження металомісткості конструкцій за рахунок зменшення їх маси, застосування ефективніших марок сталі й профілів прокату, більш повне застосування несучої здатності металу зварних швів, 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 виробничий поєд (з різних замовлень групують деталі за ознаками технологічної подібності);

- чересніснені найтрудомісткіших операцій із збирання і зварювання в умови заводу-виробника, постачання конструкцій крупними блоками з урахуванням розмірів і вагачоїдійності транспортних засобів;

- можливість збирання та зварювання найтрудомісткіших операцій з проєктної відміти вниз, на площадку для укрупненого збирання;

- застосування передової технології виготовлення й монтажу, обробки вальних верстатів із числовим програмним управлінням, автоматичних і півавтоматичних зварювальних і газорізальних установок, збирання та зварювання конструкцій в кондукторах, застосування на монтажі болтових з'єднань замість зварних, конвєсного монтажу та ін.

Крім того, в проєктах упродовжують 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 занобила 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 віднесено до чотирьох груп залежно від ступеня відповідальності та умов експлуатації.

1. Конструкції, що працюють в особливо несприятливих умовах або піддаються безпосередній дії динамічних навантажень (підкранові балки, балки робочих площадок цехів, елементи конструкцій і розвантажувальних естакад, які безпосередньо приймають навантаження від рухомих поїздів; фасонки ферм, прогони будівель та опори транспортних галерей; спеціальні опори великих переходів ліній електропередач висотою понад 60 м; елементи відтяжок цоколів);

2. Конструкції або їх елементи, що працюють при статичному навантаженні на розтяг, згин, згин із розгином (ферми, ригелі рам, балки перекриттів і покриття, опори ліній електропередач, за виключенням опор великих переходів, опори збірних шпін і шпильок відкритих розподільчих пристроїв підстанцій), елементи комбінованих опор антенних споруд і трубопроводи ГЕС, наєсних стійки 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 стволів і башт антенних споруд; прогони покриття;

4. Допоміжні конструкції будівель і споруд (ав'язуючі, елементи фавєрхів, сходи, площадки, огорожі, другорядні 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 найекономичнішою за витратами металу, найменш трудомемкою 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, підкранових балок, ліхтарів і допоміжних конструкцій. Застосування типових конструкцій різко прискорює проєктування і виготовлення конструкцій, знижує вартість і покращує якість.

20.4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІЦНІСТЬ ЗВАРНІХ З'ЄДНАНЬ

Міцність зварних з'єднань — це їх здатність чинити опір руйнуванню або їх незворотній зміні 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 концентраторів. Міцність зварювальних з'єднань визначають при перемінних навантаженнях. Крім того, розрізняють технологічну й конструктивну міцність для зварювальних з'єднань і конструкцій.

Кількісно міцність оцінюють напруженнями, при яких настає руйнування або текучість металу чи з'єднання. Визначення механічних властивостей проводяться на стандартних зразках різної конфігурації залежно від схеми навантаження (в зварних з'єднаннях переважно розтяг, згин і 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 значить, що зварне з'єднання повинне бути рівномірним основному металу при заданих умовах його роботи. При цьому міцність і пластичність металу шва повинна бути ще нижче відповідних показників основного металу.

Складніше бувало 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 зусиль 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 дугоним.

20.5. ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ ЗВАРНІХ З'ЄДНАНЬ. ЗВАРЮВАНІСТЬ

Під аварюваністю 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 руйнування витримувати різні дії, які можуть виникнути в процесі зварювання, вистигання або вилужування зварних конструкцій від впливів 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 поперемірно оцінюється за хімічним складом за методом визначення еквівалента вуглецю (C_e) за формулою:

$$C_e = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V) 10.$$

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 підгіріву.

При більш високому вмісті C_e необхідна різна ступінь підгіріву або зварювання взагалі неможливе.

Залежно від хімічного складу сталь може мати задовільну опірність гарячим і холодним тріщинам, при вмісті вуглецю і легуючих елементів на іжних границях і практично не зварюватися при їх вмісті на верхніх границях.

В основному для металоконструкцій застосовують гарячекатані фасонний (кутинки, двоярки, швелери) та листовий прокат, гнуті профілі з низьколегованої сталі Ст3 нс, Ст3 сп, 09Г2С, 10Г2С1, 10ХС11Д, 16Г2АФ. У вібрних залоботонних конструкціях використовують арматуру гарячекатану сталь періодичного профілю Ст3 нс, Ст5 нс, 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 в них 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 (розкиданість 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 неурочайх і тісних робочих місцях, та в умовах, необхідних для виконання швів у нижньому, вертикальному, горизонтальному і стельовому положеннях.

Виділені 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 навчанні зварників. При ручному дуговому зварюванні будівельних конструкцій використовують електроди з рутіловим, ільменітовим її основним видами покриття типу Э42, Э42А, Э46, Э50А за ГОСТом 9467-75, призначених для зварювання у всіх просторових положеннях. Стрижки вказаних 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, неякісні заводські шви, відхилення у розмірах). Проводять виправлення дефектів;
- перевірка правильності підготовки кромки, очищення металу перед зварюванням від іржі, вологі, жиру;
- при збиранні дотримання розмірів зазорів у з'єднаннях, недопущення зміщення кромки на 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'єднання або конструкції проекту і тільки після цього виконання зварювання.

Основні марки електродів, які використовуються для зварювання будівельних конструкцій: МР-3, МР-4, 03С-4, Ротекс-03С12, АНО-4, МР-3Р, 03С-41, 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, рід, поляристість 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 її температури основного металу, типу шарного 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

Корінний шов виконують електродами діаметром не більше 3,0–4,0 мм для забезпечення його проплавлення. Струм зварювання вибирають відповідно до вказівок на етикетці, яка має бути на кожній паці з електродами. Максимальну величину $I_{зв}$ застосовують для зварювання у нижньому положенні, в інших положеннях силу струму знижують на 10–25%. Техніка її технологія зварювання відвідає 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 її призначення. Таким чином, конструктивна міцність — це складна взаємодія властивостей матеріалів, які входять до її складу, і властивостей самої конструкції (статична міцність, міцність при втомлюванні металу, холодостійкість, опір повзучості, технологічність

мірності, корозійна стійкість та ін.). Конструктивна міцність також залежить від умов роботи конструкції, які визначаються зовнішніми факторами (характер і величина навантажень, характер і величина впливів, температура, час експлуатації та ін.).

Здатність конструкції чинити опір появі граничних станів навантаження її несучою здатністю.

На практиці в розрахунках приймають поняття — розрахункова міцність. Це здатність конструкції чинити опір появі тих граничних станів, від яких залежить її впадовитість. 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. Тензійніший стан науки про міцність металів не дозволяє враховувати одночасно дія багатьох факторів, тому розрахунки проводять за головним фактором (граничний стан появи текучості, втрата стійкості, холодостійкості та ін.);

2. Виключення з розрахунку недостатньо вивчених факторів (наприклад, вплив дефектів), які в реальних умовах роботи конструкції можуть мати домінуюче значення;

3. Неправильний вибір граничних станів і критеріїв для оцінки міцності конструкції та проведення розрахунків (наприклад, назначення критеріїв механічної міцності без урахування концентрації напружень, використання тільки силових критеріїв без урахування деформаційних та ін.);

4. Завчасно складно врахувати вродитність появи дефектів, їх величину й характер розподілу; також часом фактично неможливо виявити 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 наближення розрахункової та конструктивної міцності, визначення ступеня надійності зварних конструкцій. Вирішення цих завдань дозволило зменшити масу і габарити (розміри) конструкцій, зекономити матеріали, здешевити виробництво.

Велике значення має розробка оптимальної технології виготовлення конструкцій з урахуванням факторів, які негативно впливають на конструкцію, і які важко або неможливо визначити розрахунком. Це термічна обробка, яка знімає залишкові напруження; застосування пристроїв, які виключають або знижують залишкові деформації; 100%-ний 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 конструкції без переробки використовувати неможливо. В окремих випадках ці деформації можуть спричинити аварію.

Власними називають напруження, що існують у конструкції або елементі при відсутності прикладених до них понеркових або об'ємних сил. Власні напруження виникають унаслідок деформації металу різних видів температурних, які проявляються при зміні температури або внаслідок структурних перетворень; візуальних, які характеризуються зміною розмірів тіла — лінійних і кутівих, внутрішніх (пружних і пластичних).

Причинами виникнення власних напружень можуть бути: механічне або пластичне деформування при збиранні, правленні та монтажі; пружий й пластичний деформації внаслідок нерівномірного нагріву при зварюванні або термобробці; структурні і фазові перетворення, що супроводжуються нерівномірною зміною об'єму.

На міцність зварних конструкцій значно впливають раціональна послідовність збирально-зварювальних операцій, конструкції пристосувань і оснащення, а також наявність і характер дефектів у зварних швах.

20.7. БАЛКОВІ Й РЕШІТЧАСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Балка — це конструктивний елемент суцільного перерізу, призначений для роботи на поперечний згин. Балки використовують у різних перекриттях, робочих площадках, естакадах, мостах, підкранових балках та інших конструкціях. Суцільностінової 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 розмірів зварних балок надивичайно різноманітні. Якщо навантаження прикладене до вертикальної площини, частіше використовують балки двотаврового перерізу. При прикладанні навантаження до вертикальної та горизонтальної площин, а також при дії обертового моменту доцільніше використовувати балки коробчастого перерізу.

Звичайній зварній двотавр складається з трьох основних листових елементів, стінки та двох полицок. Збирання балки (рис. 20.5) повинно забезпечити симетрію її взаємно перпендикулярності полицок і стінки, притиснення їх одне до одного та закріплення прихватками.



Рис. 20.5. Допуски на збирання H-подібного перерізу

При використанні збиральних кондукторів (рис. 20.6) це досягається відповідним розташуванням баз і притискачів по всій довжині балки з наступним встановленням прихваток.

На установках із самохідним порталом (рис. 20.7) притискання і прихвачування здійснюють 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 стелажу, а пояси — до стінок балки і в зібраному перерізі ставлять прихватки. Потім притискачі виключають, портал переміщують уздовж балки на крок прихватки і операцію повторюють.

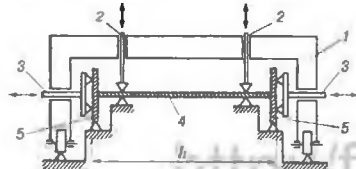


Рис. 20.7. Схема самохідного порталу для збирання двотаврової балки:
1 — портал; 2, 3 — вертикальний і горизонтальний притискачі; 4 — стінка балки; 5 — поличка балки

Наявність у порталі вертикальних притискачів дозволяє збирати балки значної висоти h , на боячись втрати елітки від зусиль горизонтальних притискачів.

При виготовленні двотаврових балок основною зварювальною операцією є виконання поясних швів, які зварюються автоматами під шаром флюсу. Прийоми й послідовність накладання швів можуть бути різними. Прийоми зварювання нахилним електродом (рис. 20.8 а, б) дозволяють одночасно зварювати два шва, але є небезпека виникнення підрізу стінки або полички.

Виконання швів «у човник» (рис. 20.8 в) забезпечує кращі умови їх формування і проплавлення. При цьому виріб слід повертати після зварювання кожного шва. Для повороту використовують позиціонери, кантувачі.

У деяких випадках для збирання балок використовують кантувачі з кільцями (рис. 20.9). Зібрана балка вкладається на нижню частину 1 кільця, відкидна частина 2 замикається за допомогою відкид-



Рис. 20.8. Способи накладання швів:
а, б — нахилним електродом; в — «у човник»



Рис. 20.6. Схема кондуктора для збирання двотаврової балки

них гвинтів 3 і балка закріплюється системою затисканів 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 стелажу. В робочому положенні балка 2 (рис. 20.10 а) опирається на знімну 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 (холоста 1 і ведуча 4) і натяжна зірочка 6. Зварну балку 3 вкладають на висячий ланцюг 2. Ведучі зірочки мають загальний приводний вал і забезпечують поворот балки в потрібне положення.

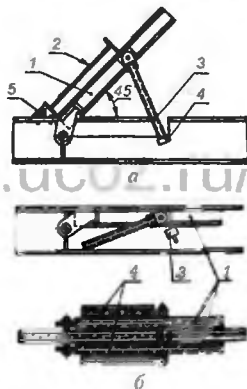


Рис. 20.10. Пристрій для встановлення балок під зварювання:
1 — підставка; 2 — балка; 3 — стійка; 4 — гніздо; 5 — знімна опора

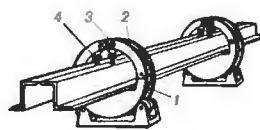


Рис. 20.9. Кантувач з кільцями:
1 — нижня частина кільця; 2 — відкидна частина кільця; 3 — відкидні гвинти; 4 — система затисканів

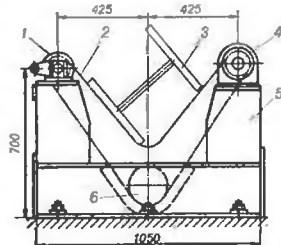


Рис. 20.11. Ланцюговий кантувач:
1, 4 — холоста і ведуча зірочка; 2 — ланцюг; 3 — балка; 5 — фасонна рама; 6 — натяжна зірочка

20.7.1. Неперервне виробництво зварних балок

При виготовленні таврових і двотаврових балок операції збирання й зварювання можна сумістити в часі. Схему установки, що допомагає якій можна здійснити такієї процес, показано на рис. 20.12.

Взаємне центрування заготовок, переміщення із зварювальною швидкістю та автоматичне зварювання під флюсом обох швів здійснюють одночасно. Притискання стінки тавра до пояса забезпечує пневматичний циліндр через натискний ролик 3. Центрування елементів тавра проводиться чотирма парами роликів 1, 2. Кожна пара має пристрій для регулювання відстані між роликami залежно від ширини пояса і товщини стінки. Рух зварного елемента здійснюється привідним роликом 4. Кінці балки підтримуються роликami опорних візків 5. Другий пояс для одержання двотаврових балок може приварюватися при повторному пропусканні тавра через установку.

Для високопродуктивного 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 полочки двотавра подають до зварювального агрегату із трьох розмотувачів 1 (рис. 20.13).

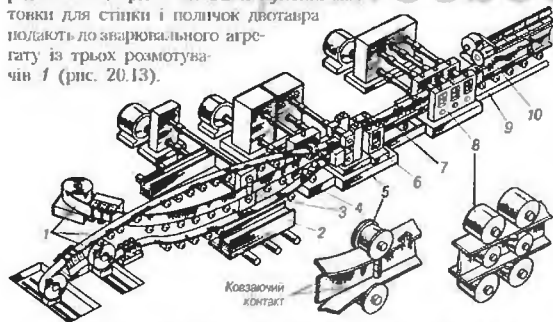


Рис. 20.13. Схема агрегату для виготовлення двотаврових профілів зварюванням СВЧ:

1 — полочки і стінка бали; 2 — живильник для жорстких заготовок; 3 — машина для осадку; 4 — пристрій для гнуття; 5 — зварювальна установка; 6 — вогневе зачищення; 7 — зона охолодження; 8 — правлення; 9 — дефектоскопія; 10 — літвоча пилва

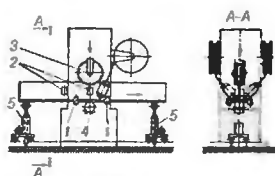


Рис. 20.12. Схема верстата для зварювання балок таврового профілю: 1, 2 — роликi для центрування елементів тавра; 3 — натискний ролик; 4 — привідний ролик; 5 — роликi опорних візків

Пристрій для гнуття 4 забезпечує подальшу полочку у зону зварювання під кутом 4–7°C до кромок стінки. Ковзаючі контакти 1, 2 (рис. 20.14) підводять струм до однієї з паличок і відводять від іншої, що забезпечує протікання зварювального струму вздовж поверхні стикованих елементів і через місце їх контактів під притисковими роликami. При безосередньому приварюванні полочки до стінки (рис. 20.15 а) зварне з'єднання отримує несприятливу форму. Холодна висадка кромок стінки із зачищенням з'єднання в гарячому стані дозволяє забезпечити шлавніший перехід від стінки до полочки (рис. 20.15 б), відповідно з цим у агрегаті (див. рисуюнок 20.13) кромки проходять поперечно осадку в машині 3 і зварюються з полочками у зварювальній установці 5. Потім балка проходить вогневе зачищення 6, зону охолодження 7, правку 8, дефектоскопію 9 і на відповідному роликовому конвеєрі ріжеться літвочною пилвою 10. У випадку значної товщини полочки їх жорсткі заготовки поділяють не в рулонах, а з живильників 2 поштучно. У процесі зварювання ці заготовки проходять зварювальний агрегат, щільно притиснуті торцями одна до одної.

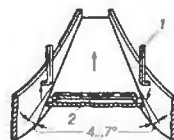


Рис. 20.14. Схема підводу струму в зону зварювання: 1, 2 — ковзаючі контакти



Рис. 20.15. Варіанти з'єднання стінки балки з полочкою

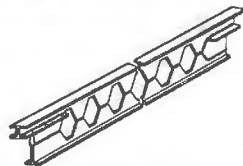


Рис. 20.16. Балка з перфорованою стінкою із двох широкополочкових двотаврів

Часом такі балки налічують «сотоними». Вони мають ряд переваг; при однаковій витраті металу момент інерції наскрізного двотавра в 1,5–2 рази більший ніж у випадного прокатного.

Але при виготовленні «сотових» балок є певні труднощі (короблення балок після розпуску прокатного двотавра, необхідність застосування кондукторів для збирання і зварювання).

«Сотові» балки конкурентоздатні не тільки із звичайними балками, але й з решічастими конструкціями.

20.7.2. Елементи промислових будівель

Широкополічкові прокатні двотаври і таври рекомендується застосовувати при виготовленні підкранових башок, колон та інших елементів будівельних конструкцій. Між собою підкранові балки з'єднують болтами, пропущеними через торцеві ребра жорсткості, а внутрішні цих ребер жорсткості опираються на колони (рис. 20.17).

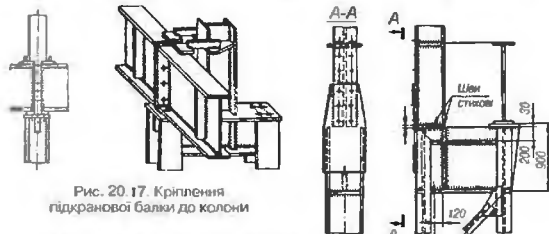


Рис. 20.17. Кріплення підкранової балки до колони

Колони можуть бути постійного та змінного перерізу, суцільні й решітчасті. Їх переріз виконують складовими з використанням широкополічкових прокатних профілів. За умовами монтажу при виготовленні колон слід виконувати такі вимоги: перпендикулярність осі колон до опорної площини плити башмака і дотримання віддалі між колонами, правильність розташування монтажних отворів. Характерні конструктивні вирішення 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).

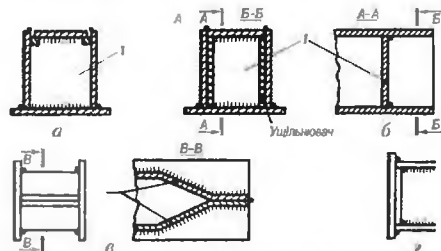


Рис. 20.19. Поперечні перерізи зварних коробчастих елементів

Для пофарбування внутрішньої порожнини в одному (рис. 20.20 а, б, в) або в двох (рис. 20.20 г) горизонтальних листах роблять перфорацию, тобто овальні отвори, які рівномірно розташовані вздовж поздовжньої осі.

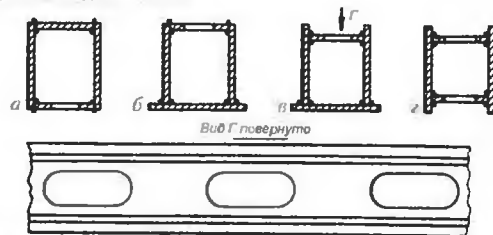


Рис. 20.20. Елементи коробчастого перерізу з перфорованою стінкою

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 гвинтоподібному викривленню зварювання здійснюють накладанням одночасно двох симетрично розташованих в одній площині кутових швів нахиленими електродами. Для цього використовують дводуготри трактори ТС-2ДУ. Внутрішні розміри коробки забезпечують пропуск 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 поздовжні зусилля стиску або розтягу. Це дозволяє більш раціонально використовувати матеріал (метал) порівняно з балками. Ферми економічніші за витратами металу, але більш трудомісткі у виготовленні. Тому їх використовують для перекриття великих прогонів при відносно невеликих навантаженнях.

Ферма складається з трьох основних конструктивних елементів: верхнього та нижнього поясів і решітки. Остання складається із розкосів і стіпок. 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 (стропильні, підстропильні), транспортні естакади, гідротехнічні затвори, вантажодійомні крани;
- профілем окреслення поясів — ферми з паралельними поясимами, 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.

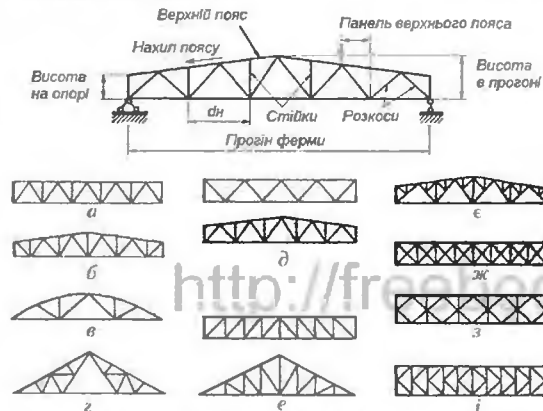


Рис. 20.21. Елементи ферм та їх класифікація за окресленнями поясів і типом решітки:

a — з паралельними поясимами; *b* — полігональні; *d* — арочні (сегментні); *z* — трикутні; *д* — з трикутною решіткою; *e* — з розкосю 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 розкосій решітці всі розкоси мають зусилля одного знаку, а всі стійки — протилежного. Широку решітку застосовують у випадку частішого прикладання зосереджених сил до верхнього пояса. Хрестоподібну решітку у фермах використовують при двобічному навантаженні. Решітку ромбичні й напіврозкриті застосовують рідко, в основному в конструкціях з великими поперечними силами.

За видом статистичної схеми ферми бувають нерозрізаними, розрізаними та консольними. Залежно від зусилля в елементах ферми їх поділяють на легкі (прогоном до 50 м і найбільшим аусіллям у поясах $N_{max} = 5000$ кН) й важкі; за конструктивним рішенням — на зничайні, комбіновані та з поперечним напруженням.

Найчастіше у перерізах елементів ферм використовують спарені кутники. Комбінуючи перерізи з рівнобічних і нерівнобічних кутників, з'єднуючи їх малими і великими полічками, можна одержати перерізи, рівностійкий в обох площинах, який добре працює на позовдовжню силу. Кріплення ферми до колон показано на рис. 20.22.

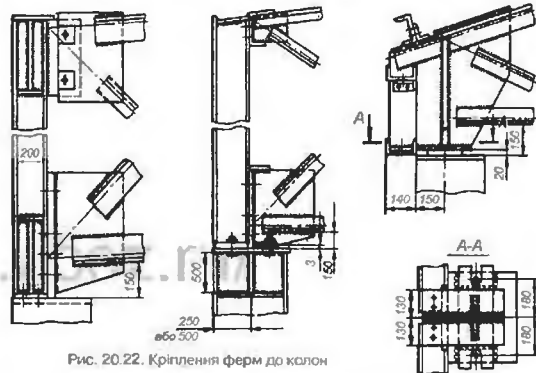


Рис. 20.22. Кріплення ферми до колон

Такі ферми можна використовувати для перекриття різних прогонів. Уніфіковані ферми мають прогони 18 м, 24, 30 і 36 м. Типи перерізів наведено на рис. 20.23.

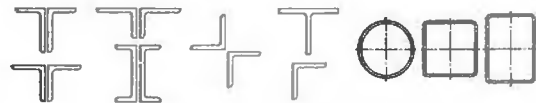


Рис. 20.23. Типи перерізів елементів ферм

Стропильні ферми працюють при статичному навантаженні. В якості стрижнів 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

кутників. Стрижні у вузлах з'єднують безпосередньо або за допомогою допоміжних елементів, головним чином дуговим зварюванням. Перекриванням є застосування контактного зварювання.

При збиранні ферм особливу увагу приділяють правильному центруванню стрижнів у вузлах, що запобігає появі моменту гнуття, не врахованих розрахунками. У випадку складових елементів їх сильна робота забезпечується встановленням прокладок.

Конструкції стропильних ферм з поясами із широкополочкових таврів порівняно з типовими фермами із кутників виготовляти легше при меншій трудомісткості і вартості. Зниження маси ферми досягається в основному за рахунок зменшення розмірів вузлових косинок, а також через відсутність косинок у вузлах кріпленнях стійок до верхніх поясів і виключення прокладок до поясів ферм (рис. 20.24 а).

Часом вдається кріпити решітку безпосередньо до пояса без косинок (рис. 20.24 б).

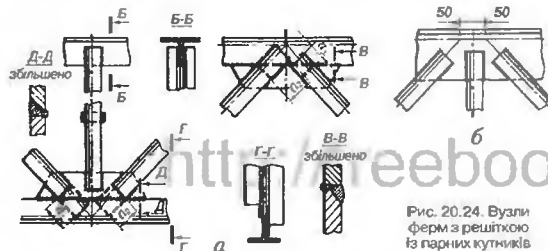


Рис. 20.24. Вузли ферм з решіткою із парних кутників

У цьому вузлі елементи прикріплені до верхнього пояса ексцентрично. Таке розцентрування допустиме завдяки малим зусиллям у примикаючих розкосах і недонапруженню потужного верхнього пояса цієї панелі. Трудомісткість при виготовленні ферми із поясами з таврів знижується внаслідок зменшення кількості деталей і скорочення довжини зварних швів.

Доцільно, щоб конструкція вузлів стропильних ферм з поясами із таврів і решіткою з парних кутників дозволяла повністю розчленити операції спочатку збирання, потім зварювання. Кінці кутників, розкосів рекомендується змінювати для пів метри вздовж осі розкосу на віддаль 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 приварює вузлову косинку до стінки поясного тавра, була 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 сплюскують, що спрощує їх з'єднання у вузлах дуговим зварюванням. Звичайно простіше з'єднувати у вузлах труб прямокутного або квадратного перерізу. У цьому випадку вузли можна формувати без косинок (рис. 20.26).

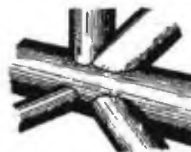


Рис. 20.25. З'єднання труб, підготовлене до зварювання

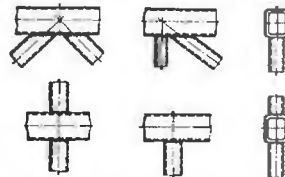


Рис. 20.26. Безкосинкові вузли

Плоскі ферми збирають по копіру або в пристроях (кондукторах; рис. 20.27). Метод копіювання полягає в тому, що за розміркою виготовляють одну напіферму, яка є копіром, і закріплюють її на стелажі. По ній ведуть збирання робочої напіферми, розкладають усі деталі доскопально і з'єднують їх між собою дуговим зварюванням прихватками довжиною 30–40 мм. Потім напіферму знімають з копіру і приєднують деталі, яких не вистачає.

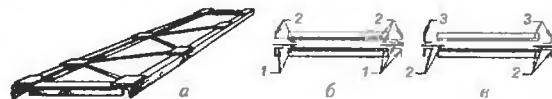


Рис. 20.27. Схема збирання ферми по копіру:

а — перша зібрана по копіру ферма, переріз якої складають одиничні кутники (вона є копіром); б — при збиранні деталі 2 кожної чергової ферми розкладають і суміщують із деталями 1 копірної ферми; в — приварювання парних кутників 3, яких не вистачає.

При виготовленні великої кількості ферм їх поелементно збирають і зварюють у пристроях — кондукторах.

На рис. 20.28 показана схема кондуктора, який змонтований на базі шпиль для збирання.

За розміткою геометричної схеми ферми, відповідно до креслень настрійки кондуктора, встановлюють і прихватують фіксатором 1, 7 опорного вузла, опори 2, 4 кутників, фіксаторів з поясів, фіксаторів 5, 6 косинок.

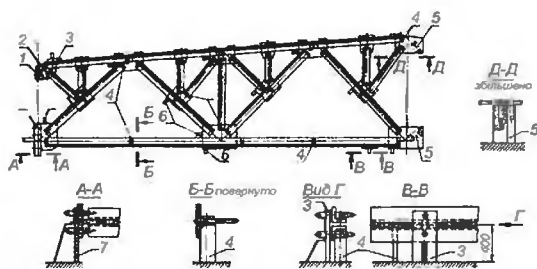


Рис. 20.28. Збирання ферми в кондукторі.

1, 7 — фіксатори; 2, 4 — кутники; 3 — фіксатор поєв'яз; 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 зібраного широбу при зварюванні. Вузли ферми зв'язують покриті гнім 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 вимірювального 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.

Простороші 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 розпорами. Її ствол складають з окремих взаємозамінних секцій довжиною 7,5 м. При монтажі секції з'єднують на болтах за допомогою фланців, приварених до торців поєв'язних 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 нарощування гітових секцій, або шляхом попереднього збирання на рівні землі в горизонтальному положенні з наступним підйомом і встановленням на основу. В останньому випадку доцільно використовувати вертолїт (рис. 20.29). Підйом башти висотою до 90 м займає 3,5–5 хв.

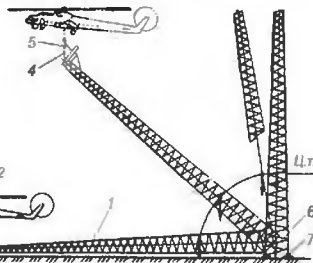


Рис. 20.29. Схема монтажу башти із застосуванням вертолїта:

1 — зібрана башта; 2 — вертолїт; 3 — контрвага; 4 — підйомний тяг; 5 — гальмівна тяга; 6 — поворотний шарнір; 7 — опора

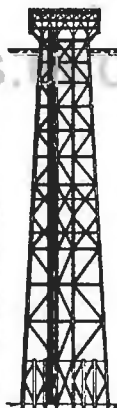


Рис. 20.30. Станційна основа морської бурової платформи

Зібрану башту закріплюють у поворотних шарнірах, установлених на фундаменті. В оголовку башти монтується система, що складається з консолю 3, підйомника 4 і гальмівних тяг 5, які закріплюються балансовою траверсою. Після завісання вертолїта над оголовком башти два монтажники прикріплюють траверсу до дистанційно розташованого замка зовнішньої підвіски і виходять із зони монтажу, а вертолїт 2 починає підйом. У зоні нейтрального положення башти, коли її центр ваги знаходиться на одній вертикалі з поворотним шарніром 6, вертолїт зменшує швидкість і пропускає башту вперед. Проходить перерозподіл зусиль між підйомною тягою 4 і гальмівною 5. При цьому вертолїт виконує функцію якоря, що переміщується. Коли башта займе проектне положення, вертолїт знижується, ослаблюючи її, і монтажники закріплюють опори 7.

Бурові установки (рис. 20.30) для нафтобудку 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'єднувальних елементів, різноманітності конструктивних форм і технологічних прийомів виготовлення.

На виробництві найчастіше використовують балкові мости: розрізи, нерозрізи, консольні із суцільною стінкою (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, вант або ланцюгів (рис. 20.31 д, е). Арочні мости (рис. 20.31 і) будуть у гірських районах.

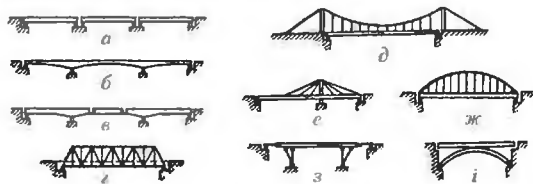


Рис. 20.31. Схема сталевого моста

Комбіновані системи виконують із балок, посилених верхнім полігональним поясом (рис. 20.31 ж) або у вигляді консольної балки, посиленої додатковими підкосами (рис. 20.31 з).

Проста прогінна будівля залізничного моста при їзді поверху (рис. 20.32) складається з двох головних балок, сполучених системою зв'язок. Безпосередньо на пояси балок вкладають мостові бруси, а на них — рейки. Головні балки в основному мають двотавровий переріз. Такі прогінні 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.

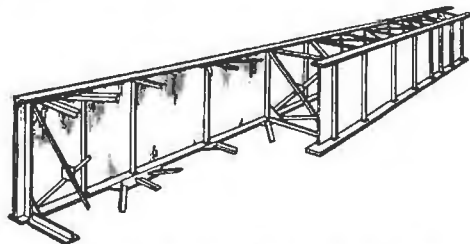


Рис. 20.32. Головні балки і зв'язки прогінного моста

Зварювання застосовують при виготовленні арматурних виробів: при монтажі арматурних виробів, а також при монтажі збірних залізобетонних конструкцій (рис. 20.33).

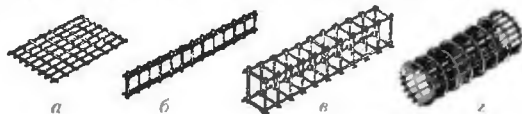


Рис. 20.33. Приклади зварників арматурних виробів: а — плоскі каркаси; б — просторові каркаси прямокутного перерізу; в — просторові каркаси круглого перерізу

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 контактного (а, б, в) дуговим (д-ж), їх комбінацією (з) і ванним (і). У будівництві застосовують збірні залізобетонні конструкції, які виготовляються індустріальними методами на заводах за допомогою контактного зварювання стрижнів, які пересікаються.

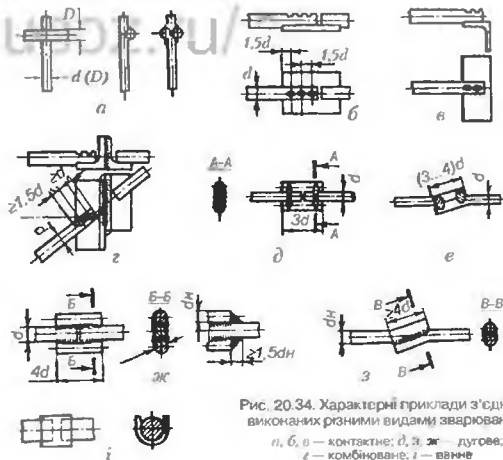


Рис. 20.34. Характерні приклади з'єднань, виконаних різними видами зварювання; а, б, в — контактне; д, з, ж — дугове; з — комбіноване; і — ванне

Приклади монтажних збірних зварних з'єднань залізобетонних елементів показано на рис. 20.35. При виконанні стикових з'єднань стрижнів на монтажі, а також при виготовленні каркасів монолітного залізобетону використовують ванне та електрошлакове зварювання.



Рис. 20.35. Монтажні зварні з'єднання збірних залізобетонних елементів

Стійку роботу всіх елементів просторового каркаса забезпечують також використанням збірно-монолітних конструктивних рішень (рис. 20.36).

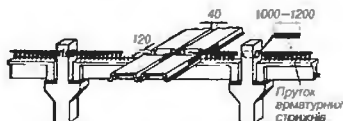


Рис. 20.36. З'єднання збірно-монолітної конструкції каркаса будівлі

20.10. ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Різні споруди типу оболонки, несучою основою яких є плоскі або згинуті 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 класифікують на:

- резервуари для зберігання рідин (нафти, нафтопродуктів, спирту, кислот, зріджених газів);
- газголдери для зберігання і вирівнювання складу газів;
- бункери і силоси для зберігання й перевантаження сипких матеріалів (руди, цементу, піску, вугілля тощо);
- листові конструкції доменних цехів (кожухи доменних печей, повітрянагрівачів, шлюзовалювачів);
- листові конструкції спеціальних технологічних установок хімічних і нафтопереробних заводів;
- трубопроводи великого діаметра для транспортування води і газів на гідростанціях, 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 знижує їх довговічність. Відомі випадки виходу із ладу резервуарів і трубопроводів під дією сірчанних сполук, які знаходяться в продуктах, що зберігаються або транспортуються, за короткої термін експлуатації (2–3 роки).

Для збільшення терміну служби споруд на поверхню стінки, 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, краплевидні, траншейні.

При спорудженні конструкцій великих розмірів можливий значний об'єм збірно-зварювальних робіт, які намагаються виконувати в умовах заводу-виробника. Розміри елементів конструкції, 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. Є. О. Патона. Круті вузли конструкції у вигляді полотнищ 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 полотнища з одного ярусу на інший з поворотом на 180°. На двох ярусах розташовані чотири робочі ділянки: збирання, зварювання з одного боку, зварювання з іншого боку, контролю та виправлення дефектів. Переміщення полотнища й скручування рулону проводять ритмічно після завершення роботи на кожній ділянці. При цьому полотнище накручують на каркас 4, який закріплений в обертачах.

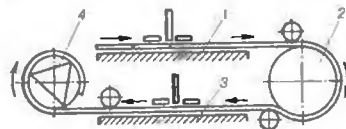


Рис. 20.37. Принципова схема двоярусного пристрою:
1, 3 — яруси, 2 — барабан, 4 — каркас

Листи товщиною до 8 мм збирають унапуск і зварюють. Це пояснюється тим, що такі листи простіше збирати та зварювати, причому скручування такого напуктового з'єднання утруднене не викликає. При товщині листів більше 8 мм місце напуску має помітну жорсткість і для скручування незручне. Стикове з'єднання листів

такої товщини є більш доступним як з позиції збирання і зварювання під флюсом, так і з позиції наступного скручування у рулон.

На рис. 20.38 наведено схему розташування листів у рулонованих полотнищах для стінки резервуара об'ємом 5000 м³. Обробка кромки нижніх поясів на верстатах забезпечує щільне збирання стикових з'єднань. Зібрані випустки листів мають риски, які суміщуються з рисками поздовжніх осей поясів на наступній секції. Схема збирання і зварювання перших двох секцій цього полотнища на верховному ярусі показана на рис. 20.39. Римські цифри вказують послідовність укладки листів, арабські — послідовність зварювання швів.

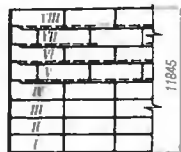


Рис. 20.38. Схема розташування листів у стінці резервуара об'ємом 5000 м³

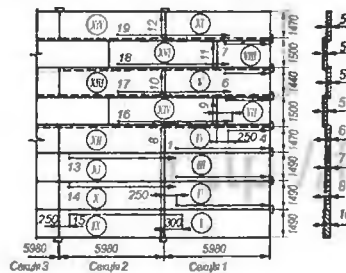


Рис. 20.39. Послідовність збирання та зварювання стінки резервуара об'ємом 5000 м³

20.11. ВЕРТИКАЛЬНІ ЦИЛІНДРИЧНІ РЕЗЕРВУАРИ

Вертикальні циліндричні резервуари призначені для зберігання нафти, нафтопродуктів, інших рідин. Резервуари об'ємом 5000 м³ (рис. 20.40) споруджують із стаціонарним кінцевим дахом.

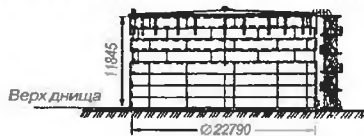


Рис. 20.40. Резервуар об'ємом 5000 м³ із стаціонарним кінцевим дахом

Розширюється будівництво ізоtermічних резервуарів для зберігання зріджених газів при низькій температурі та атмосферному тиску. Такий метод зберігання екологічно вигідніший порівняно із зберіганням газів у резервуарах під тиском. Застосовують одно- (рис. 20.41) і двостінні (рис. 20.42) конструкції.

В одноствінному резервуарі теплова ізоляція розташовується під днищем і кріпиться до зовнішньої поверхні стінок і даху. При двостінній конструкції створюється резервуар в резервуарі. Простір між оболонками таких резервуарів заповнюється теплоізоляційним матеріалом. Двостінні резервуари дозволяють забезпечити надійну теплоізоляцію для зберігання продуктів при дуже низьких температурах (-180°С).

При спорудженні вертикальних резервуарів дуже широко застосовується метод рулонування полотнищ.

Спорудженню резервуара передують підготовка монтажної площадки і основи резервуара, на яку збирається днище із рулонних заготовок. Для резервуарів об'ємом до 10 000 м³ днища поставляють на монтаж у вигляді декількох рулонованих полотнищ, ширина яких відповідає ширині системи. Рулон, який містить елементи днища, укладають на основі і розгортають послідовно з утворенням напукати шириною 40 мм між монтажними елементами (рис. 20.43). Монтажні шви зварюють від середини до країв полотнища (рис. 20.44). В місцях опирання стінки в напукаткову з'єднання днища вирізають «лиску» її зварюють дляянку довжиною 250–300 мм стиковим швом на підкладці, яка залишається. Посилення шва знімають.

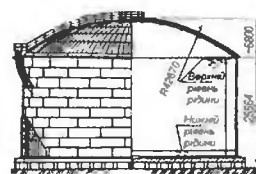


Рис. 20.41. Ізоtermічний одноствінний резервуар

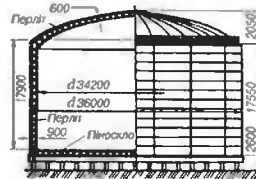


Рис. 20.42. Ізоtermічний двостінний резервуар



Рис. 20.43. Скручування полотнища днища на монтаж

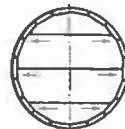


Рис. 20.44. Напрямок зварювання монтажних швів

Оскільки кінцевий шов, який з'єднує бокову стінку з дном, у цьому випадку виконується при повній завареному дніщі, можливе його здуття внаслідок втрати стійкості. При виготовленні резервуарів великого об'єму (попад. 10 000 м³) для запобігання утворенню таких деформацій у виді рулоно виготовляють тільки центральну частину дніща, а окантовані елементи зварюють між собою при монтажі з окремих листів. Для збирання використовують клинові пристрої. Центральну частину дніща приєднують до звареного із окантованих елементів кільця прихватками і розвертають рулон бокової стінки. Після приварювання її нижньої кромки до кільця із окантованих елементів прихватки видаляють, здуття виправляють шляхом зсуву листів у напругі і тільки тоді шви між центральною частиною дніща і окантованими елементами зварюють повністю.

Стінки резервуарів поставляють на монтажну площадку в одному або декількох рулонах. На підготовленому дніщі рулоні встановлюють у вертикальному положенні (рис. 20.45).

Розгортаючи рулон, нижню кромку стінки прикріплюють до дніща прихватками (рис. 20.46).

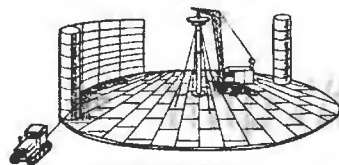


Рис. 20.45. Розгортання рулонової стінки резервуара



Рис. 20.46. Кріплення троса на рулоні при його розвертанні

Верхню кромку фіксують або одночасно вмонтованими цпгтами покриття, при їх відсутності – відтяжками. 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).

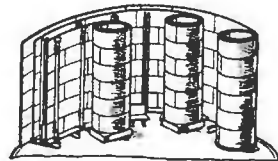


Рис. 20.47. Паралельне розгортання рулонів мокрого газгольдерів

Розглянуті прийомі монтажу успішно використовуються для резервуарів об'ємом до 30 000 м³. Для більших резервуарів використання високих рулонів (18 м), застосування високоміцних сталей і підвищена товщина поясів утруднюють керування розгортанням рулонів, стикування вертикальних кромek окремих рулонів,

розкріплення полотнищ, які розгортаються. Крім того, значно посилюється навантаження вітру. Тому для крупних резервуарів доцільніше використовувати прийом монтажу із розгортанням рулонів у горизонтальному положенні за допомогою шаблону (рис. 20.48).

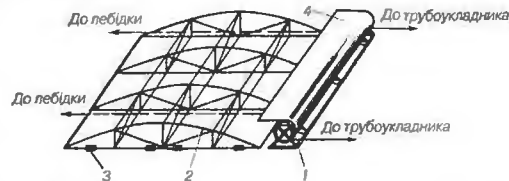


Рис. 20.48. Схема горизонтального розгортання рулоно з допомогою шаблона: 1 — рама; 2 — шаблон; 3 — шарнірні опори; 4 — рулон

Шаблон 2 — це просторова конструкція, яка складається з декількох плоских ферм, з'єднаних пружинами і зв'язками. Верхні криволінійні пояси ферм виконані по внутрішньому радіусі резервуара; нижні пояси — прямолінійні. Довжина верхнього пояса ферми трохи більша від довжини полотнища, яке розгортається, і становить майже 30 м. Нижній пояс крайньої ферми має шарнірні опори 3 для повороту, які приварюють до дніща резервуара так, щоб після повороту шаблону у вертикальне положення його криволінійні поверхні співпали з проєктним положенням вертикальної стінки.

Рулон 4, який розгортають, закріплюють у вертикальному положенні в центрі рами, яку встановлюють поряд з шаблоном. Розгортають за допомогою лебідок і трубоукладчиків полотнища прилягають до елементів верхніх поясів шаблону. Потім до зовнішніх поверхонь розгорнутого полотнища підганяють і приварюють секції кільця жорсткості, тимчасові стійки та інші деталі. Після завершення збирання шаблон разом з полотнищем піднімають у вертикальне положення самохідним краном і повертають навколо шарнірів (рис. 20.49).

У проєктному положенні полотнища закріплюють із зовнішнього боку резервуара і приварюють до дніща. Потім шаблон від'єднують від полотнища та дніща, переносять на наступну ділянку і цикл повторюється.

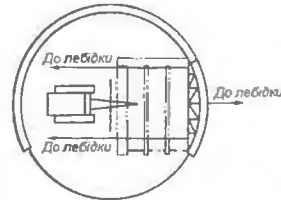


Рис. 20.49. Підйом чергової секції стінки резервуара

При товщині металу понад 16 мм для резервуарів об'ємом 50 000 і 100 000 м³ використовують метод блочного збирання. У цьому випадку окремі листи збирають у блоки на заводах-виробників. Блоки з'єднують багатопаровим монтажним зварним швом. Вертикальні стінки монтуєть з окремих листів чи блоків, починаючи з нижнього пояса методом нарощування. На ділицю по розмітці встановлюють окремі листи нижнього пояса, укріплюючи їх між собою і днищем за допомогою збиральних пристроїв.

Горизонтальні шви зварюють двома напівавтоматами одночасно два зварники, які переміщуються вздовж стінки в пересувних кабінах або зварюють автоматами під флюсом. Флюс у зоні зварювання підтримується замкнутим 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 снігових опадів.

Стационарний дах монтуєть з окремих щитів. За збільшенням розмірів резервуарів та їх діаметрів трудність спорудження покриття зростає. Тому ведуться пошуки нових конструктивних і технологічних рішень, які дозволяють організувати поточе виробництво покриття із невеликої кількості стандартних елементів. Одним із перспективних напрямків створення куполів, які збираються із однакових плоских або просторових елементів обмеженої кількості типів. Індивідуально виготовляються тільки елементи опирання щитів на кромок 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. Виключення перерізів елементів жорсткості, одержують стійку технологічну конструкцію, зручну для організації великосерійного виробництва однотипових 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.

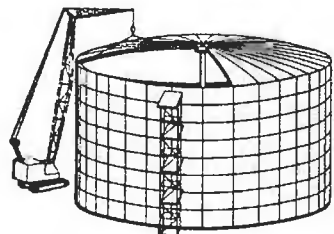


Рис. 20.50. Монтаж щитів стационарного даху

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 розкרוкованні (рис. 20.52 а, б, в) і товщині до 22 мм панелі одержують холодним вальцюванням за допомогою спеціального багатопалкового стенда. Заготовки перед вальцюванням збирають із листів і зварюють автоматичним зварюванням під флюсом. Вихідну форму заготовки надають газовим різанням по шаблону-копію. Розміри, одержані після вальцювання панелі, перевіряють габарит рухомого залізничного спанзону. Тому їх після контрольного збирання розкладають на дві перші частини і випуклістю вниз укладають на спеціальні контейнери для перевезення до місця монтажу. Елементи, які надійшли із заводу, на монтажі збирають у нижньому положенні під флюсом на стендах-качалках. Можливе електрифікаційне зварювання (рис. 20.53).



Рис. 20.51. Сферичний резервуар об'ємом 600 м³

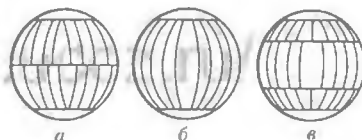


Рис. 20.52. Схеми розкroku корпусів сферичного резервуарів



Рис. 20.53. Послідовність збирання резервуара методом послідовного нарощування при горизонтальній орієнтації блока

Форма розробки кромок і послідовність їх заповнення залежать від товщини стінки резервуара. При товщині стінки 16 мм застосовують двобічне автоматичне зварювання без розробки кромок. Перший шов виконують із внутрішнього боку оболонки по ручному підварному шву, 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 й в серйозні недоліки: необхідно оберегти важку конструкцію, використовуючи складні маніпулятори.

Зварювання з припуском формуваним може виконуватися на одному боці або на двох. Зібрані стики закріплюють прихватковими швами або за допомогою титмасосних скоб. Ущільнення стиків може забезпечуватися і без прихваткових швів, формуючи підкладку (рис. 20.54 а) або водоохолоджені трубки (рис. 20.54 б, в).

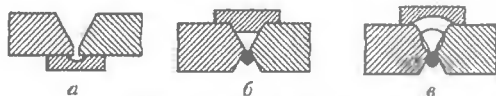


Рис. 20.54. Схеми зварювання стиків:

а — формуюча підкладка; б, в — водоохолоджені 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. 55 в). Характерними для посудин є стикові з'єднання.

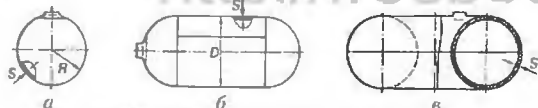


Рис. 20.55. Типи посудин, які працюють під тиском:

а — сфера; б — циліндр; в — тор

«Обичайки» зварюють прямолінійними поздовжніми швами. Кільцевими швами з'єднують сферичні днища та «обичайки», круговими швами зварюють штуцери у циліндричні й торові елементи.

Тонкостінні посудини (товщиною до 7 мм) виготовляють із низьковуглецевих 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 основними, але складні для збирання і зварювання з повним проплавленням. З'єднання з підкладкою, що залишається, (рис. 20.56 б) дозволяють упростити збирання і зварювання кільцевого шва, але їх можна застосовувати

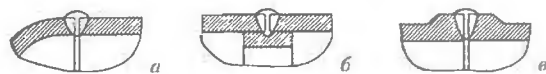


Рис. 20.56. Конструктивне оформлення кільцевих стиків:

а — з'єднання без підкладки; б — з'єднання з підкладкою, що залишається; в — місцеве ущільнення стіски 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 стіпки в зоні шва (рис. 20.56 в) використовують у випадку необхідності компенсувати послаблення основного металу в зоні з'єднання.

Технологія збирання та одиночного зварювання поздовжніх швів тонкостінних посудин передбачає застосування стендів із клавирними затискачами, які забезпечують рівномірне й щільне притискання кромок до підкладки.

20.13.1. Зварювання посудин, які працюють під тиском

Посудини, які працюють під тиском, — це герметично вкриті ємкості, призначені для виконання різних хімічних і теплових процесів, а також для зберігання і перевезення стиснутих, зріджених і розчинених газів і рідин під тиском. Пустотілі посудини використовують переважно для зберігання і перевезення, а з внутрішніми пристроями (тарілками, 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 площадці; горизонтальні ємкості постійного об'єму («лежакти», «буллітні») та автоклави.

До посудин із внутрішніми пристроями відносяться 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 таврних зварних з'єднань для приварювання плоских днищ, плоских приварених фланців, а також штуцерів — вірток труб у стіпки посудин. 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 з'єднаннях посудин з різною товщиною стінок повинні бути забезпечені плавний перехід від одного елемента до іншого. Перехресні пересічення зварних швів, виконаних ручним дуговим зварюванням, не допускаються. В цьому випадку шви повинні бути зміщені один щодо одного на віддалі, яка дорівнює зократній товщині найтовщого 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 поздовжні шви горизонтальних посудин у межах центрального кута нижньої частини корпусу посудини, рівного 140°. У випадку приварювання опор або інших конструкцій до корпусу або днища посудини аварійні шви розташовують (рис. 20.58) поза її опору. Віддалі між краєм зварної посудини і краєм шва приварювання повинна бути не менше товщини стінки посудини, а зварні шви повинні бути доступні для контролю при виготовленні, монтажі та експлуатації.

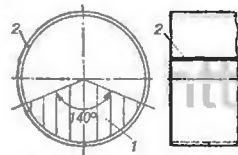


Рис. 20.58. Розташування поздовжніх швів у горизонтальній посудині: 1 — зона, в якій аварійні шви не розташовуються, 2 — зварний шов

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 трубопровідних робіт при будівництві й реконструкції промислових об'єктів, спорудженні об'єктів транспорту, нафтопереробній і нафтохімічній промисловості.

Трубопроводи — це пристрої для транспортування рідких, газоподібних і сипких речовин при різних тисках і температурах. Оскільки пропускна здатність трубопроводів різна, то і розміри їх

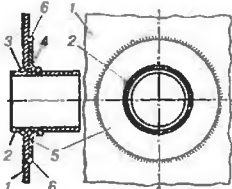


Рис. 20.57. Установлення штуцера на корпусі посудини:

1 — шланг посудини; 2 — штуцер; 3 — внутрішній шов (при діаметрі посудини 800 мм і більше); 4 — зовнішній шов; 5 — накладка («комір»); 6 — шви приварювання «коміра»

(діаметри) також коливаються у великому діапазоні. Пероз'ємні з'єднання в трубопроводах виконують за допомогою зварювання, а роз'ємні — 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 при заданих прокатом і технічними умовами параметрами процесу і тиску, витратами, температурою.

Критерій надійності — безвідмовність, довговічність і ремонтоздатність.

Безвідмовність — здатність працювати із заданим режимом протягом певного часу без порушення його працездатності (розриву 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 внутрішньоцехові (зв'язуючі) і міжцехові. Внутрішньоцехові трубопроводи найскладніші за конфігурацією, наповнені деталями та арматурою й дуже трудомісткі при виготовленні. Приблизно на 1 м такого трубопроводу припадає одне зварне з'єднання. Міжцехові 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 розрідженні до 0,1 КПа і тиску до 250 МПа. Такі складні умови роботи вимагають високої якості зварних з'єднань.

Технологічні трубопроводи виготовляють із труб діаметром 6–1600 мм із низьковуглецевих, низько- і високолегованих сталей, жовтуш, кольорових металів та їх сплавів і неметалевих матеріалів

(пластмас, скля та ін.). Незважаючи на велику різноманітність трубопроводів, всі вони виготовляються із стандартних або нормалізованих деталей (рис. 20.59).

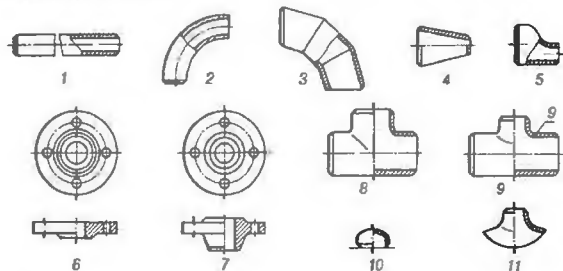


Рис. 20.59. Приварені деталі сталевих трубопроводів:

1 — патрубок (відокремлюється); 2 — кругозгинувий елімент; 3 — заварний елімент; 4 — конічний перехід; 5 — ексцентрисний перехід; 6 — плоскі приварені фланці; 7 — плоскі приварені стикові фланці; 8 — ріпководний трійник; 9 — неріпководний трійник; 10 — еліптична заглушка; 11 — накладна сідовина

Спочатку з окремих деталей зварюють елементи трубопроводу (рис. 20.60) в трубозавальних 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 готуються із деталей таким чином, щоб усі зварні з'єднання лежали в паралельних площинах. Це дозволяє зварювати їх механізованими способами в поворотному положенні з однієї установки 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).

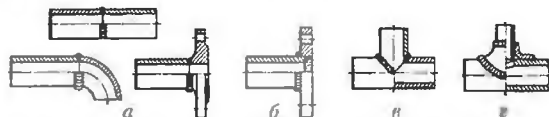


Рис. 20.61. Типи зварних з'єднань, які застосовуються при виготовленні й монтажі трубопроводів:

а — стикові; б — кутові; в — фасонні (при врізанні труби в трубу); г — вступкові (при приварюванні сідовини)

При виготовленні технологічних трубопроводів більший об'єм 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 кромок у просторі.

При зварюванні стиків мінімальне зварювальне з'єднання залежить від якості кореневого шва. Кореневий шов «на вазі» можна виконати (рис. 20.62): дуговым зварюванням покритим електродом, аргондуговым та аргондуговым зварюванням по розплавленому кільці.

Найкращу якість внутрішньої поверхні шва забезпечують останні два способи.

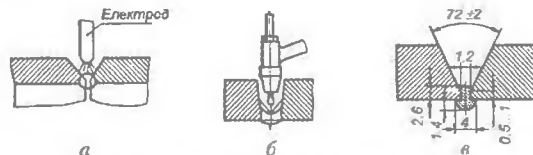


Рис. 20.62. Способи зварювання кореневого шару «на вазі»:

а — дуговым зварюванням покритим електродом; б — аргондуговым зварюванням; в — аргондуговым зварюванням по розплавленому кільці

20.14.1. Зварювання труб магістральних трубопроводів

Розвиток трубопроводного транспорту вимагає збільшення виробництва труб великих діаметрів із низьковуглецевих сталей. Для магістральних трубопроводів труби виконують зварюваним флюсом, шов розташовують на утворючій або по спіралі.

Технологічні операції виготовлення труб на Харцизькому трубному заводі наведено на рис. 20.63.

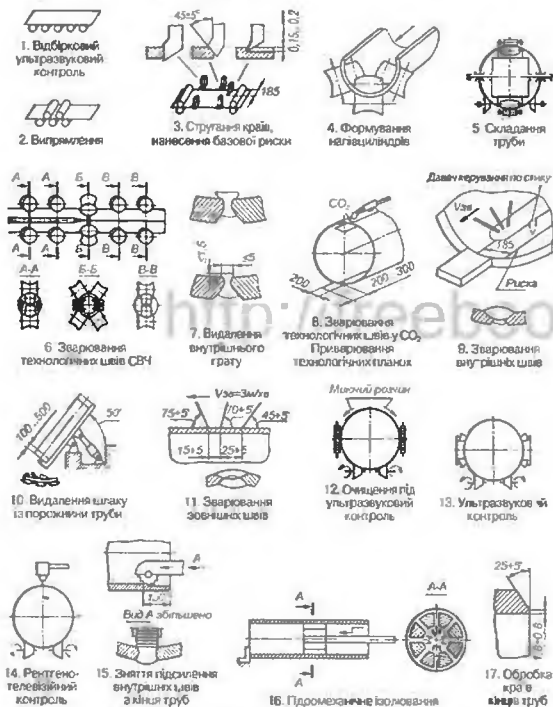


Рис. 20.63. Технологічні операції виготовлення труб на Харцизькому трубному заводі

Технологія виготовлення двадцятиметрових прямокутних труб діаметром 1 020 × 1 420 мм на Харцизькому 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 наліццилиндричних заготовок (операція 4) проходить у рамках семіплітного верстата, звідки парами надходять на збірничу (операція 5) і прив'язку технологічними швами. Останні виконуються струмами високої частоти або в середній вузл кислотного газу в одному із двох агрегатів, установлених паралельно один до одного.

При виконанні швів СВЧ (операція 6) стики розташовують у горизонтальній площині і зварюють одночасно з наступним виділенням внутрішнього грату (операція 7).

При виконанні технологічних швів в CO₂ (операція 8) стики розташовують у вертикальній площині і зварюють послідовно з катодним на 180° шістьма однопоточними апаратами, установленими через кожні 2 м, при русі труби з швидкістю зварювання на дошки, яка трохи перевищує відстань між зварними головками.

Після візуального контролю технологічних швів і приварювання технологічних планок (операція 8) труби поступають на зварювання внутрішніх робочих швів (операція 9), де переміщення труби із зварювальною швидкістю забезпечується ланцюговою заплюгунком, а прийом і видача труби з маршовою швидкістю – роликовим конвеєром. Зварювання здійснюють тридотним апаратом А-1448 «на спуск», слідкуваним за напрямком електродів по штику проводяться 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 виконання зовнішніх робочих швів (операція 11) відрізняються тільки розташуванням зварювального апарату, а за положенням електродів відносно стика зварник слідує за допомогою світлової вказівки. Попередньо охолоджені водою і мийним розчином (операція 12) труби проходять новий ультразвуковий контроль (операція 13) зовнішніх і внутрішніх робочих швів з відміченням дефективних місць фарбою.

При наявності дефективних відміток трубу направляють на рентгено-телевізійну установку для розшифрування (операція 14).

Після обробки кінця труби і зняття підсилення внутрішнього шва на дошки 150 мм фрезерними головками (операція 15) внутрішню поверхню труби промивають на поворотній секції роликового конвеєра за допомогою ідроміттору і подають на калібрування,

яке здійснюється гідромеханічним експандером шляхом послідовної розширення по всій довжині (операция 16). Для цього трубу кромок насувають на калібрвальну головку експандера.

При нерухомій трубі шток силового циліндра переміщує центральний клин з гріями і розсуває робочі сегменти, забезпечуючи розтиснення ділянки труби до заданого діаметра. Відкалібровані труби проходять гідровипробування внутрішнім тиском, а потім контролюються повторно ультразвуком з метою виявлення дефектів, які розкрилися в процесі калібрування і гідровипробування. Обробка кінців труб (операція 17) виконується одночасно двома обертовими головками з різцями.

20.14.2. Зварювання стиків труб

Магістральні газо- та нафтопрониди 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 вивантаження з вагонів доставляють на тимчасову польову базу, збирають у секції довжиною 36 м, потім перевозять безпосередньо на трасу труботранспортувальними машинами. При з'єднанні секцій в неперервну нитку в основу організації збирально-монтажних робіт покладено поточний метод. Трубопровід, який споруджується, є ніби нерухомим конвеєром, вздовж якого рухається механізована колона, ритмічно виконуючи всі технологічні операції з продуктивністю приблизно 1 км за добу.

Збирання під зварювання труб магістральних 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 магістральних трубопроводів

Ручне дугове зварювання неповоротних стиків магістральних трубопроводів ведуть поточним методом, виконуючи багатощарний шов (рис. 20.64). Така організація робіт забезпечує високу продуктивність, але при цьому є велика потреба у висококваліфікованих робітниках — зварниках.

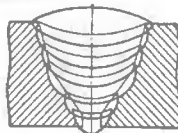


Рис. 20.64. Схема заповнення розробки кромок

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 попередньо розкладають на опори вздовж траси під кутом 15–20° до напрямку лінії трубопроводу і вводять зачищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь поблизу кромок шліфувальними машинками з вібруючими кругами (рис. 20.65). Попередній підігрів кромок труб до температури 150–200°C проводять перед стикуванням труб або після. Для підігріву використовують кільцеві газові пальники.

Збирання стика виконують за допомогою трубокладача. 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 валежно під діаметра трубопроводу. При цьому кожний із зварників ланки виконує тільки свою визначену ділянку шару на незмінному режимі. Порядок зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1 420 мм показано на рис. 20.68.

Два зварники із сходинок-драбнок ведуть зварювання верхньої напівкожучності труби, а два інших зварюють нижню напівкожучність труби.

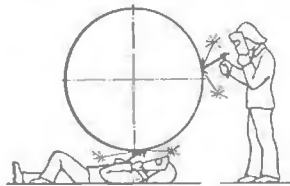


Рис. 20.67. Схема зварювання стика

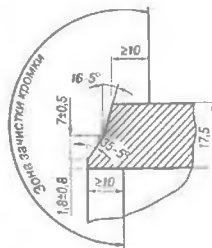


Рис. 20.65. Розробка кромок труби і зона їх зачищення

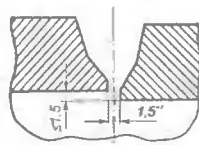


Рис. 20.66. Допуски на збирання стика труби

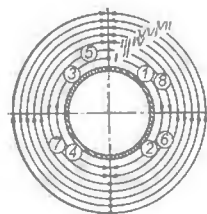


Рис. 20.68. Порядок вкладання шарів шва при поточно-розчленованому методі роботи (діаметр труб 1420мм): I–VI — шарі шва, I–В — розташування зварників

Корінний шов зварюють усі члени ланки, яка виконує збирання стика. Зварювання ведуть у напрямку зверху вниз не годом опіраючи електроди на кромки труб без коливальних рухів. Застосування електродів із целюлозним покриттям забезпечує швидкість зварювання до 22 м/год і гарантує утворення зворотного ванни в середині труби, що виключає необхідність підварювання кореня шва в середині труби. Але для таких електродів при високій продуктивності характерне утворення «кишень» із шлаком (рис. 20.69 а). Тому після завершення зварювання корінного шва відразу ж тонкими шліфувальними кругами видаляють приблизно 1/4 частину перерізу шва для відкриття цих «кишень» (рис. 20.69 б).

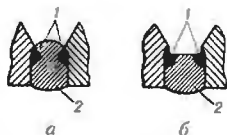


Рис. 20.69. Шліфування кореня шва абразивним кругом:
а — до шліфування; б — після шліфування; 1 — шлак; 2 — наплавлений метал

Електроди з целюлозним покриттям забезпечують високе відносне видовження і меншу межу міцності порівняно з електродами з основним покриттям. У результаті коріння шва менше схильний до критичного руйнування та утворення тріщин, що дуже важливо при виконанні монтажних операцій на секції, коли вона приєднана до нитки трубопроводу тільки кореневим швом. Вільний кінець секції опускають на монтажну опору з дерев'яних брусків і пристіковують до нього наступну секцію труби. Відразу ж після зварювання корінного шва другий шар шва («гарячий прохід») виконує також ланка з чотирьох зварників. Зварювання проводять електродами з целюлозним покриттям або з основним покриттям у напрямку зверху вниз з поперековими коливаннями електрода. Наступні шари, заповнюючі й облицювальні, виконуються електродами з основним покриттям.

Після зварювання кожного шару поверхню шва захищають від шлаку за допомогою електрошліфувальних машинок. Після завершення зварювання стика або при вимушених перервах у зварюванні стик накривають теплоізоляційним поясом. Зварювальні джерела живлення розташовують на чотириністої уніфікованій зварювальній установці (рис. 20.70). Вона комплектується переносною палаткою, що захищає місце розташування зварного стика від вітру, дощу або снігу. Палатка має засклені вікна, додаткове освітлення, вентилятор для відсмоктування газів.

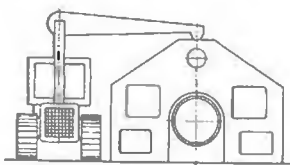


Рис. 20.70. Чотириністова уніфікована зварювальна установка

20.14.4. Зварювання трубопроводів у захисних газах

Зварювання в захисних газах (CO_2 або $\text{CO}_2 + \text{Ar}$) внаслідок митного стікання розплавленого металу широко застосовується при монтажі трубопроводів. При зварюванні неповоротних стіків на трасі застосовують механізоване чи автоматичне зварювання. Підготовка кромки під зварювання виконують двома пристроями, підвішеними на стрілах трубоукладача. Кожен пристрій закріплюють на внутрішній поверхні труби, після чого його шість головок з різьбями обробляють торць труби. А сталеві дротяні шітки захищають кромки в зоні зварювання. Після зачищення кромки установлюють стрічку-пояс, по якій будуть переміщуватися рамки зварювальних і головок при зварюванні зовнішніх шарів шва.

Стик труби під зварювання збирають за допомогою трубоукладача і внутрішнього самохідного центризатора, оснащеного шістьма зварювальними головками. Кожна зварювальна голонка зварює 1/6 частину окружності стика. Захисний газ подається з балонів. Зварювання одночасно ведуть три голонки однієї половинки стика, починаючи від зеніту і переміщуючись у напрямку зврху вниз від своїх вихідних позицій. Потім три автомати другої половинки завершують зварювання кореня шва.

Ще до закінчення зварювання корінного шва на ділянках стика з прорареним із внутрішнього боку коренем шва починають зварювання двома автоматами першого зовнішнього шару. Зварюють зверху вниз без коливань електродного дроту. Потім зовнішні зварювальні автомати знімають і переносять до чергового стика.

Автоматичне зварювання в захисних газах із поворотних стіків труб із застосуванням установок «Сатурн» комплексу «Стик» забезпечують високі темпи монтажу труб, можливість замінити чотири зварники, проводити зварювання стіків на приволінійних ділянках траси, на коротких ділянках, поблизу споруд, на болотистих ділянках.

Широко застосовують також контактне зварювання труб, при якому зварне з'єднання отримується одночасно по всьому периметру стика. 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 використання емкостей відпрацьованими газами карбюраторних двигунів, які не містять кисню. Вони витіснюються із тари повітря разом з парами палива. Необ'язково встановлюють сітковий іскрогаслювач або водяний іскрогасник. Відбір газу від автомобіля можна виконувати через глушник за допомогою гумового шланга із встановленим іскрогасником. Один кінець шланга міцно закріплюють хомутом на кінці труби глушника та іскрогасника. Другий, що йде від іскрогасника, націвають і закріплюють хомутом на сталій трубі, яка опускається в емкість з водою. Зовнішній діаметр труби підбирають так, щоб між нею та стінками отвору під пробку в емкості залишався зазор, достатній для виходу повітря й газів. Внутрішній діаметр труби має бути 30–35 мм, довжина — 700–1000 мм. Бачок місткістю 8–10 л заповнюють на 2/3 водою. Вихідні гази проходять через воду, що запобігає проскакування іскри в тару, і через іншу трубку з шлангом спрямовуються в ремонтвану тару. Відпрацьовані гази необхідно подавати в процесі всього ремонту. Час витіснення із тари повітря залежить від її місткості і становить 3–25 хв при місткості від 200 до 1700 л. Замість відпрацьованих можна використовувати інші гази, 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 деякі вузли дешевше претворити на металобрухт, ніж виконувати ремонт. Для крупних конструкцій їх висока 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 дасть 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 феромагнітності матеріалу, виконують пробу на іскру (див. додаток 2) та ін.

Перед зварюванням визначають розміри дефектів, усувають тріщини, виконують очищення і перевіряють якість основного матеріалу. Тріщини, що залишилися у виробі, при нагріванні будуть поширюватися. Шлифування й поверхнєве різання також є причиною поширення тріщин. Для обмеження поширення тріщин просвердлюють отвори. В деяких випадках доцільно навколо тріщини видалити матеріал за допомогою спеціальних фрез. Після зварювання тріщини, місце, де вона була, перевіряють, використовуючи забарвлену рідину або спеціальний пристрій, який працює з магнітними частинками. Це дає можливість виявитися у повній ліквідації дефекту.

Висоти 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 початковому виготовленні конструкції. Насамперед це утруднений доступ, матеріал насичений мастилом, підвищена вологість навколишнього середовища тощо. Крім зварювання для відновлення спрацьованих деталей використовують наплавлення і напильня (газове, дугове, плазмове та ін.).

При розробці технологічного процесу ремонту слід визначити:

- режими попередньої й післязварювальної термообробки;
- тип зварювального процесу;
- характеристики зварювального обладнання;
- розділи зварювальних матеріалів;
- режими зварювального процесу;
- методику контролю зварювального процесу і результатів 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 тривалої експлуатації в реальних умовах. Реєстрація параметрів технологічних процесів ремонту забезпечує одержання цінної інформації, яка може бути корисна при ліквідації інших несправностей, дефектів, поломок тощо.

Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікують зварні конструкції?
2. Як класифікують будівельні металоконструкції?
3. Які 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 міцністю зварних з'єднань?
8. Що розуміється під технологічною міцністю зварних з'єднань?
9. Що розуміється під конструктивною міцністю 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, балшт?
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 трубопроводів, та основні способи їх виготовлення.
22. Охарактеризуйте технологію виготовлення труб і способи зварювання їх стінок.
23. Назвіть рядок зварювання труб великого діаметра.
24. Виберіть марки електродів для зварювання будівельних металоконструкцій. Обґрунтуйте свій вибір.
25. Назвіть способи зварювання кореневого шару «на вагів».

21.1. ОСОБЛИВОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ РІЗАННЯ

Термічним різанням називають процес відокремлення частин металу його окисненням або плавленням.

Суть різання окисненням полягає в нагріванні місця різання до температури спалювання металу, згоряння підігрітого металу в кисні та виділення продуктів горіння із зони різання струменем кисню.

Суть різання плавленням полягає в нагріванні місця різання сильним концентрованим джерелом до температури, вищої за температуру плавлення металу, і видунання розплавленого металу з місця різання дугою або газом.

Основними видами різання окисненням є: кисневе, киснево-флюсове, киснево-дугове, а плавленням — плазово-дугове, газозазерне, газодугове.

Для обробки мінералів, залізобетону й інших неметалевих матеріалів застосовують різання кисневим списом і реактивним струменем.

За характером утворених різів розрізняють роздільне та поверхневе різання, а за шорсткістю поверхні різання — чистове й чорнове.

При роздільному різанні утворюються наскрізні розрізи (різання металу на частини, вирізання деталей із листа, скіє кромок під зварювання та ін.). Поверхневе різання призначене для зняття шару металу з поверхні оброблюваних деталей або заготовок (видалення дефектів швів, підготовка кромок під зварювання, стругання поверхні, виплавлювання канавок тощо). Інтенсивне нагрівання металу електричною дугою широко використовується для різання.

Способи ручного і механізованого дугового різання:

- невідним і плавким покритими електродом;
- повітряно-дугове різання;
- киснево-дугове різання;
- плазове різання;
- різання під флюсом;
- дугове різання обертвовим сталевим диском;
- газозазерне;
- підводне.

Особливості термічного різання металів вказані в табл. 21.1–21.6.

Способи різання різних металів

Метал	Кисневе	Киснево-флюсове	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Дугове	Газо-лазерне
Нікельовуглецевиста сталь	+	0	+	+	0	+
Корозійостійка 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» — недоцільний спосіб різання; «-» — різання неможливе.

Таблиця 21.2

Рекомендовані способи термічного різання чавуну і кольорових металів

Матеріал	Способи різання
Чавун	Основний спосіб — повітряно-дуговий. Кисневе різання утруднюється, тому що температура плавлення чавуну вища від температури його сплаву в квіт. Застосовують ручне дугове і плазмово-дугове різання.
Алюміній і його сплави	Найкращі результати дає плазмово-дугове різання. Кисневому різанню перешкоджає теплопровідність шлaku і висока теплопровідність.
Магній і його сплави	Практично використовують тільки плазмово-дугове різання.
Мідь і її сплави	Ефективні плазмово-дугове різання. Використовують також дугове і киснево-флюсове різання, але необхідне підігрівання до температури 400–900 °С.
Титан і його сплави	Кисневе різання без труднощів і в декілька разів швидше. Застосовують також дугове і плазмово-дугове різання.

Таблиця 21.3

Допустима шорсткість поверхні різа, мм (ГОСТ 14792-80)

Клас	Різання	Норми при товщині металу, мм			
		5–12	12–30	30–60	60–100
1	Кисневе	0,05	0,06	0,07	0,085
	Плазмово-дугове	0,05	0,06	0,07	—
2	Кисневе	0,08	0,16	0,25	0,50
	Плазмово-дугове	0,10	0,20	0,32	—
3	Кисневе	0,16	0,25	0,50	1
	Плазмово-дугове	0,20	0,32	0,63	—

Примітка. Шорсткість визначається вимірюванням висоти нерівностей профілю R_a по 10 точках на безопів довжині 8 мм.

Таблиця 21.1

Класи точності вирізуваних деталей і заготовок (ГОСТ 14792-80)

Клас точності	Різання	Товщина листа, мм	Градиент відхилення при номінальних розмірах деталі, мм			
			до 500	500–1500	1500–2500	2500–5000
1	Кисневе і плазмово-дугове	5–30 30–60	±1	±1,5	±2	±2,5
	Кисневе	60–100	±1,5	±2	±2,5	±3
2	Кисневе і плазмово-дугове	5–30 30–60	±2	±2,5	±3	±3,5
	Кисневе	60–100	±3	±3,5	±4	±4,5
3	Кисневе і плазмово-дугове	5–30 30–60	±3,5	±4	±4,5	±5
	Кисневе	60–100	±4,5	±5	±5,5	—

Таблиця 21.5

Максимальна товщина високолегованої сталі при різних способах різання

Способи різання	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Киснево-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	Кисневе	0,2	0,3	0,4	0,5
	Плазмово-дугове	0,4	0,5	0,7	—
2	Кисневе	0,5	0,7	1	1,5
	Плазмово-дугове	1	1,2	1,6	—
3	Кисневе	1	1,5	2	2,5
	Плазмово-дугове	2,3	3	4	—

Примітка. Радіус ошліфленої кромки не повинен перевищувати 2 мм.

21.2. РІЗАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Різання покритими електродами ґрунтоване на розплавленні металу електричною дугою і скануванні його вниз під власною масою. Струм вибирають на 35–40% вищим, ніж при зварюванні. При різанні необхідно забезпечити стикання основного й електродного металу. Для цього метал розмищують горизонтально. Щоб полегшити стикання металу виконують пілоподібні рухи електродом (рис. 21.1). Кут нахилу електрода до металу становить 30–60°.

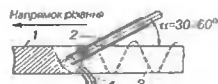


Рис. 21.1. Ручне дугове різання покритим електродом:

1 — розриваний метал, 2 — покритий електрод, 3 — траєкторія руху кінця електрода, 4 — вигнутий рідинний метал

При різанні покритим електродом різ виходить широкий, а кромки різа — з оплавленими торцями. Цей спосіб використовують для грубого (чорнового) різання сталей, чавунів і кольорових металів.

Різання покритими електродами також виконують методом упрямля. Наявність покриття призводить при різанні до підвищення стійкості горіння дуги, уповільнення плавлення стержня 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 вуглечем, 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	Зварювальний струм, А	Витрата електродів, кг/кг виплавленого металу	Продуктивність різання, кг/год
АНР-2	АНР-2-Ø ІА-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-1Е3-541-86	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	180-260	0,6	2,1
		5	250-350	0,6	2,8
		6	360-600	0,6	3,2
ОЗР-2	ОЗР-2 ТУ14-4-1595-90	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 електродими використовують вугільні й графітові електроди. Різання проходить за рахунок випалювання металу із зони різання. Завдяки високій температурі нагрівання можна різати метали, які не піддаються кисневому різанні (чавун, високолегіровані 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 вигівак 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 обдмнені графітові електроди, покриті шаром міді товщиною близько 0,1 мм. Такі електроди є економічнішими.

При різанні метал розплавається теплом електричної дуги, а потім віддувається стисненим повітрям із зони різа. Частина металу згоряє в кисні повітря. Цей спосіб різання застосовують для роздільного і поверхневого різання чавунів, нержавючих сталей, кольорових металів товщиною до 20 мм. Різання виконують на постійному струмі зворотної полярності, в інколи використовують змінний струм. У якості джерела живлення струму використовують зварювальні перетворювачі і трансформатори. Електроди можуть бути круглими (діаметром 6-12 мм) і пластинчастими. Різаків для повітряно-дугового різання (РВДм-815, РВДл-315) бувають двох типів (табл. 21.8): із послідовним розташуванням повітряного струменя та з відльєвим 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 різаків	Номинальний струм різання, А (при $\eta=100\%$)	Продуктивність для низької вуглецевої сталі, кг/год	Тиск стисненого повітря на виході, МПа	Витрат 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 $45-60^\circ$ до поверхні металу, а при поверхневому різанні — під кутом $35-45^\circ$ (рис. 21.2). В міру обгорання електрод поступово висувають із глибок електродотримача. Патискати на електрод не рекомендують, тому що при нагріванні він стає крихким і може тріснути. Ширинка канавки різа в 1-3 рази більша за діаметр електрода.

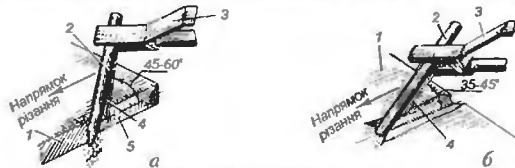


Рис. 21.2. Повітряно-дугове різання:

а — роздільне; б — поверхнєве; 1 — розрізуваний метал; 2 — вугільний електрод; 3 — електродотримач; 4 — струмінь стисненого повітря; 5 — порожнина різа

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.

Режими повітряно-дугового різання сталей

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Швидкість різання сталі, м/год	
			низьковуглецевої	високовуглецевої
5	6	270-300	58-62	63-65
	8	360-400	26-28	31-33
10	10	450-500	30-32	32-34
12	12	540-600	22-24	24-25
20	10	450-500	10-12	12-14
	12	540-600	12-14	14-15
25	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 звичайній електродотримач кріплять кільцеву насадку, через яку до різа подається кисень.

Недоліками повітряно-дугового різання є навуглицювання поверхні різа і необхідність додаткової механічної обробки.

Киснево-дугове різання полягає в тому, що метал розплавляється електричною дугою і згоряє в струмені кисню. Утворені при цьому оксиди під впливом кисневого струменя витікають з порожнини різа. При згорянні металу в кінці утворюється додаткове тепло, яке прискорює процес різання.

Для киснево-дугового різання використовують вугільні, графітові, металеві й спеціальні плавкі трубчасті електроди з подачою ріжучого 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 кінець електрода випрацюють у розрізану поверхню під кутом $80-85^\circ$ 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

Режими киснево-дугового різання неплавким електродом

Діаметр електрода, мм	Режими різання на постійному струмі зворотної полярності			
	6	8	10	12
Сила струму, А	270-290	370-390	470-480	560-580
Діаметр електрода, мм	Режими різання на змінному струмі			
	10	12		
Сила струму, А	450-500	550-600		

При різанні значимими покриттями електродами до електродотримача для ручного зварювання під'єднують спеціальну підставку, за допомогою якої подається струмінь ріжучого кисню. Режими киснево-дугового різання низьковуглецевої сталі сталевими електродами наведено в табл. 21.11.

Таблиця 21.11

Режими киснево-дугового різання сталевими електродами

Товщина сталі, мм	50	10	30
Діаметр електрода, мм	5	4	5
Струм, А	260	160	220
Швидкість різання, мм/хв	200	520	360
Витрати кисню, $\text{дм}^3/\text{м}$	400	100	250

За чистотою обробки киснево-дугове різання не поступається кисневому, а за продуктивністю переважає його. Киснево-дугове різання використовують для вуглецевих і легированих сталей, чавунів, кольорових 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 Сп-08 під флюсом марки АП-348. При використанні дроту діаметром 4 мм, напружі 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 з місця реза. 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 не перевищує 2% від маси виділеного металу. При використанні дисків, армованих вставками із стійкого сплаву, спрацювання зменшується до 20 разів. Джерелом живлення може бути будь-який зварювальний 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 однією з електродів є оброблюваний метал (рис. 21.3 б), в іншому — дуга збуджується між незалежними від металу електродом (рис. 21.3 а). Дугу прямої дії називають плазмовою, непрямої — плазмовим струменем. Для роздільного різання металів доцільно використовувати плазмову дугу, яка має вищий к.к.д., а плазмовий різак менше піддається спрацюванню.

Плазмово-дугове різання застосовують при обробці металів, які не підлягають кисневому різанню: високолеговані сталі, алюміній, титан, мідь і їх сплави. Плазмовим струменем ріжуть такі метали.

Плазмово-дугове різання полягає в проплавленні металу на вузькій ділянці по лінії реза і видаленні розплавленого металу струменем плазми, утвореною у дузі. Дуга збуджується між металом і вольфрамовим електродом, розташованим у головці різачка. При

різанні плазмовим струменем метал не вмикється в електричне коло дуги, яка горить між кінцем вольфрамового електрода і внутрішньою стінкою охолоджуваного водою наконечника різачка. Живлення дуги виконують від джерела постійного струму. «мінус» підводиться до вольфрамового електрода, а «плюс» до мідної насадки, охолоджуваної водою. У якості плазмотворюючих газів і для захисту вольфрамового електродж застосовують аргон, азот, суміші аргону з азотом, воднем і повітрям, стиснене повітря.

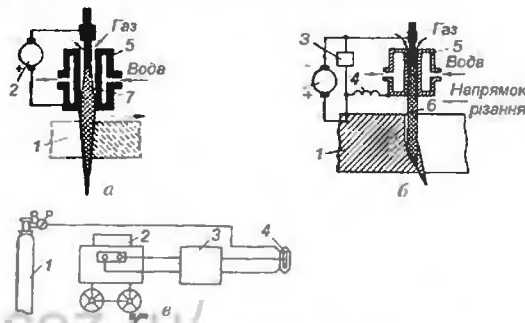


Рис. 21.3. Схема плазмового різання:

а — плазмовим струменем, б — плазмовою дугою; 1 — розрізуваний метал; 2 — джерело живлення; 3 — осцилятор; 4 — різачок, який регулює допоміжну дугу; 5 — плазмотрон; 6 — плазмова дуга; 7 — плазмовий струмінь; 8 — плазмова установка; 1 — балон з газом; 2 — джерело живлення; 3 — баластний резистор; 4 — плазмотрон

До комплексу обладнання для плазмово-дугового різання входять різак (плазмотрон), пуля керування, джерело живлення дуги, балони з плазмотворюючими газами, механізм для переміщення плазмотрона вздовж лінії різання (рис. 21.3 в).

Різак складається з електродного та соплового вузлів. Плазмотрон буває з осью і вихровою подачею газів для стиснення дуги. Основа подача плазмотворюючого газу використовується в широких соплах. При вихровій подачі газ вводить у зону катода і стовпа 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 осевій подачі газу кінець вольфрамового електрода діаметром від 2 до 6 мм і довжиною до 100–150 мм загострюють під кутом 20–30°, а при вихровій подачі газу — на кінці електрода вміщують газовий катод.

Для охолодження плазмотронів використовують воду, а в плазматронах невеликої потужності — стиснене повітря. Використовують також річку плазмотронів з півкошми кагодамн. Здатність утворювати півку на катоді мають црковній і гафній. Такий катод може тривалий час працювати в окиснюальному середовищі, наприклад, у стисненому повітрі.

Інтенси́вність спрацювання катодних вставок та електродів залежить від сили робочого струму. Триналість 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 ріжуча дуга розпадається на дві частини. Одна дуга горить між катодом і внутрішньою поверхнею сопла, а друга — між зовнішньою поверхнею сопла і розрізуваним металом. Подвійна дуга може горіти одночасно з ріжучою (не тривалий час) і поза зоною захисного газу від чого метал кромок забруднюється і підплавлюється. Щоб уникнути подвійної дуги необхідно планово збільшити робочий струм. Це досягається магнітним, тиристорним та іншими пристроями.

Для плазмово-дугового різання використовують джерела живлення дуги постійного струму з крутоспадаючими 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. ПІр — для ручного різання; ПІрм — для ручного і машинного різання; ПІм — для машинного різання; ПІмт — для машинного точкового 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/хв	Охолодження
				220	90		
ПІм-10/100	10	100	Повітря	220	90	1,0	Водяне
ПІр-20/250	20	250	Аргон, азот, водень	90	1,0	1,0	Повітряне
ПІр-50/250	50	250	Аргон, азот, водень	180	1,0	1,0	Повітряне
ПІм-60/300	60	300	Повітря	300	4,0	4,0	Водяне
ПІмт-50/400	50	400	Повітря та ін.	400			Водяне

Початок різання визначається моментом збудження ріжучої дуги. Відстань від торця 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 наслучється 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, легованих сталей і міді у середовищі повітря а 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	Ширина 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>Корозійостійка сталь</i>							
0,7	1,5	1	20	120	3,5	—	55
2	0,9	1	20	120	2,5	—	35
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 водопровідну воду. Вода подається між ріжучим соплом до захисного газу і попадає 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 під заварювання.

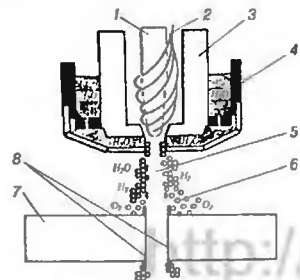


Рис. 21.4. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу:

1 — плазмовий електрод; 2 — плазмутворюючий газ (азот); 3 — ріжуче сопло; 4 — сопло захисного газу; 5 — плазмутворюючий газ (азот); 6 — вода в якості захисного газу; 7 — деталі; 8 — чисті заварені поверхні

Налагодження 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	Плазмутворюючий газ	Витрати плазмутворюючого газу, л/год	Товщина різа, 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

Таблиця 21.16

Матеріал	Потужність, кВт						
	0,2			0,85			
	товщина, мм	ширина розрізу, мм	швидкість різання, м/год	товщина, мм	ширина розрізу, мм	швидкість різання, м/год	
Вуглецева сталь	1	0,1	O ₂	180	2,2	O ₂	105
	3	0,2	O ₂	30	2,2	O ₂	105
Корозійостійка 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
Сплави 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	50	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-променево свердління отворів вперше було запроваджене 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 різко окреслену форму і діаметр 0,01–0,2 мм при напрузі 60–150 кВ (густина потужності 10⁷–10⁹ Вт/см²).

Існує два режими свердління отворів:

- моноімпульсний — отвір утворюється за один імпульс струму електронного променя (свердлять сталь товщиною 0,1–10 мм);
- багатопульсний — отвір утворюється за два і більше імпульсів (свердлять 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, володне спорядження скowe рухи різальника, обмежена видимість. Для підводного різання застосовують електро-дугове різання плавкими покритими електродом (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-Ø	4	300–330	Для підводного різання металу товщиною до 20 мм на глибині до 30 м у всіх просторових положеннях у прісній та морській воді.
		5	450–500	
ЭПС-АН-1 (дослідний)	342-ЭПС-АН1-Ø-УЛ Е416-Р20	3	110–140	Різання як під водою, так і в зоні змінного змоування. Електрод має гидроізоляційне покриття
		4	160–200	
		5	180–220	

При електродуговому різанні необхідно весь струмопідвід надійно ізолювати. Найчастіше різання виконують металевими плавкими електродом, які виготовляють з низьковуглецевих сталей діаметром 6–7 мм довжиною 350–400 мм, з покриттям товщиною 2 мм. Для захисту від води покриття насичене парафіном, целулоїдним лаком або іншими вологостійкими матеріалами. Використовують постійний струм прямої полярності на 10–20% більший порівняно з різанням на повітрі. Різання виконують методом ушрання.

Електро-кисневе різання виконують спеціальними трубчастими електродом діаметром 7 мм і товщиною стінки 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 вздовж лінії різа. Цим способом можна різати метал товщиною до 300 мм.

Можна використовувати вугільні й графітові електроди з осовим каналом, у який вставляють мідну або кварцеву трубку. Для збільшення електропровідності та підвищення механічної міцності стрижки електродів покривають металевою оболонкою, на яку наносять водонепроникне покриття. Недоліком таких електродів є великий діаметр (15–18 мм). Використовують також карборундові електроди із сталеву оболонкою і водонепроникним покриттям. Електро-кисневе різання виконують на глибині 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.

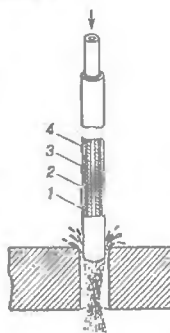


Рис. 21.5. Підводне киснево-дугове різання:

- 1 — канал для рйкую-го кисню;
- 2 — сталевий трубчастий стрижень;
- 3 — електродне покриття;
- 4 — гидроізоляція

ЯКІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ. ЗВАРНІ ДЕФЕКТИ. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Для різання під водою вибухом використовують різакі, які працюють за допомогою порохових патронів. Різання вибухом застосовують для різання дроту, кабелів, якорних ланцюгів тощо. Установку оснащують кумулятивним (направленим) вибуховим зарядом, запалювальним шнуром, детонатором, електричним кабелем, захисною огорожею магістралів, які розташовані біля місця різання.

Уданий час для різання під водою використовують плазмове різання. Продуктивність підводного різання залежить від виду різання, прозорості води, досвіду зварника та ін. Техніка підводного 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 марки покритих електродів для різання металів.
4. Як виконують повітряно-дугове різання?
5. В чому полягає суть киснево-дугового різання?
6. Вкажіть особливості плазмового різання.
7. Як виконують підводне дугове різання?
8. Охарактеризуйте термін «термічне різання».
9. У чому суть різання плавленням?
10. Назвіть способи різання металів.
11. Назвіть способи різання чавуну і кольорових металів.
12. Яка допустима шорсткість поверхні різки при кисневому і плазмово-дуговому різанні?
13. Як виконують різання неплавкими електродами?
14. Які електроди використовують для повітряно-дугового різання?
15. Охарактеризуйте різакі для повітряно-дугового різання.
16. Назвіть режими повітряно-дугового різання сталей.
17. Назвіть режими киснево-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 біляшовної зони, корозійною стійкістю, кількістю і характером виправлень (рис. 22.1).

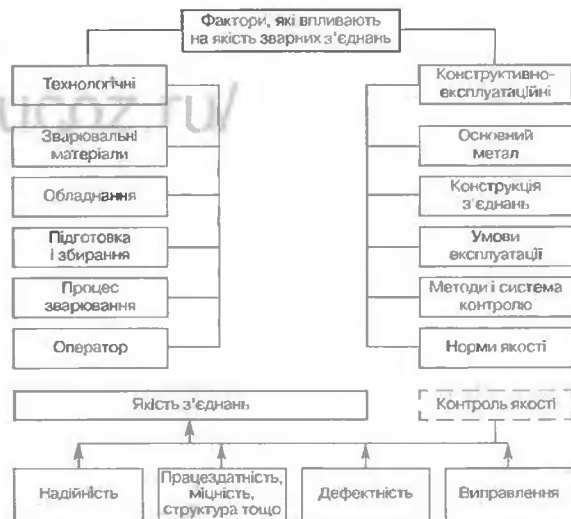


Рис. 22.1. Фактори, які впливають на якість зварних з'єднань

Згідно з прийнятою термінологією під надійністю розуміють властивість виробів виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих границях протягом 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 конструкторські (рис. 22.1).

Оптимальна схема контролю в зварювальному виробництві:

1. Контроль документації на стадії проєкту — вибір конструкції й технології складання-зварювання; вибір основного металу, обґрунтування норм допустимих дефектів і плану контролю; вибір методів контролю й забезпечення дефектоскопію конструкцій;

2. Контроль технологічної підготовки виробництва — перевірка умов і якості підготовки до зварювання, складання, перевірка підготовки й 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 операторів.

22.1.1. Типи і види дефектів

Дефект — це кожна окрема невідповідність продукції вимогам, установленним 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 й внутрішніми. Внутрішні — це дефекти нецільності (макроскопічні дефекти), або дефекти структури.

22.2. ДЕФЕКТИ ПІДГОТОВКИ ТА СКЛАДАННЯ

Найхарактернішими дефектами при підготовці та складанні зварних виробів є: не правильний кут з'єднання кромок у швах з V-, U- і X-подібною розробкою; дуже велике чи мале притуплення по довжині кромок, що стикаються; нерівномірний зазор між кромками; несійпвпадання площин кромок, які стикаються; рихлявання і забруднення на кромках і т. п.

Причинами цих дефектів можуть бути несправності верстатів для виготовлення заготовок і пристосувань для збирання; некісткі 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

Всохоплюючу класифікацію зварних дефектів виконують за їх типами, що пов'язані з геометричними ознаками й 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 й вказують на кресленнях. При зварюванні плавленням як правило регламентують: ширину шва l , висоту посилення шва h проплавлення (рис. 22.3 а).

Для таврових і напущових з'єднань регламентують катет шва k , висоту робочого сечення h (рис. 22.3 б).

Шви можуть мати нерівномірну ширину за довжиною, нерівномірну висоту, напівни, підрізи-сідловини, нерівномірну величину катетів у куткових швах і з'єднаннях.



Рис. 22.3. Конструктивні схеми швів: а — стикового; б — куткового

Дефекти форми швів виникають внаслідок відхилення від технології при автоматичному зварюванні (порушення швидкості подачі дроту, швидкості зварювання) та низькій кваліфікації зварника при ручному зварюванні.

Неправильна форма швів, особливо надмірне посилення, різкі переходи від шва до основного металу та інші можуть суттєво знизувати працездатність з'єднань, особливо при динамічних чи вібраційних навантаженнях, а також у крихких матеріалах.

Деякі зовнішні дефекти часто розглядають як поверхневі нещільності швів (особливо характерно для внутрішніх дефектів). До них відносяться підрізи, незаварені кратери, горбистість, пропали, свинці тощо.

Підрізи — дефекти зварного з'єднання, місцеве зменшення товщини основного металу у вигляді канавок, які розташовуються вздовж 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 кромок 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.

Однібічні 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 натіканні металу шва на основний метал, але з ним не сплавляється (рис. 22.4 б). Напливи можуть утворитися через недостатність напруги дуги, наявності на зварних кромках товстого шару окалини, лишньої кількості присадкового матеріалу. В кільцевих поворотних стикових швах поява наплівів викликається неправильним розташуванням електрода відносно зеніту. Напливи можуть мати невелику довжину або бути протяжними.

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 підкавальної стрічки або її нещільне прилягання. При зварюванні поворотних кільцевих швів поява пропалів сприяє зміщенню електрода від зеніту у бік обертання виробу. Це викликає стікання рідкого металу з-під кінця електрода; виникає більш активна пропалююча дія дуги. Дефектні місця повинні бути видалені й зварені заново.

Кратери — дефекти зварних швів у вигляді заглиблень, які залишаються в місцях обриву дуги (рис. 22.6).



Рис. 22.6.
Незаварений кратер

Усадочні крихкості в кратерах часто є причиною утворення тріщин. Тому дефектні місця повинні бути зачищені та зварені. У випадках механізованих швів зварювання застосовують вивідні планки, на яких закінчують шви. Потім планки з кінцями швів і кратерами на них видаляють. В електричних схемах автоматів передбачають такі елементи, які забезпечують можливість автоматичного зварювання кратера.

Свинці — дефекти у вигляді порожнин у зварних швах, які виходять на їх поверхню (рис. 22.7).

Свинці, як правило, розвиваються з каналних пор. Значна кількість поверхневих дефектів сигналізує також про наявність внутрішніх дефектів.

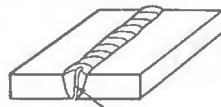


Рис. 22.7. Свинці

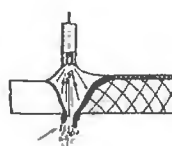


Рис. 22.5.
Пропал

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 (гарячі й холодні), испарари, пори, шлакові, вольфрамові та оксидні вclusions.

Тріщини — дефекти зварних швів, макроскопічні й мікроскопічні руйнування, порожнини, які утворилися з дуже малим початковим розкриттям. Під дією залишкових і робочих напружень тріщини можуть поширюватись з дуже великими швидкостями. Тому викликані ними крихіткі руйнування проходять майже миттєво й дуже небезпечно.

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. Поздовжня гаряча тріщина

Утворення гарячих тріщин пов'язане із спільною дією двох факторів. По мірі кристалізації скорочується кількість рідкої фази, що призводить до зменшення деформаційної пластичності 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 поздовжніми, поперечними, поздовжніми з поперечними розгалуженнями, можуть виходити на поверхню або залишатися схованими. Можливість утворення гарячих тріщин залежить від хімічного складу металу шва, швидкості наростання та величини напружень розтягу, форми зварювальної ванни й шва, розміру нерівнинних кристалітів. Вона збільшується з підвищенням у металі шва вуглецю, кремнію, шкідливих домішок сірки та фосфору. Стійкість зварних швів проти утворення гарячих тріщин підвищують марганець, хром, частково нікель, а також зниження величини і швидкості наростання розтягуючих зусиль. Останнє досягається зменшенням жорсткості вузлів, застосуванням способу зварювання з порошкоподібним присаджувальним матеріалом, використанням спеціальних технологічних прийомів (попередній 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 знижується навіть при відносно невеликому вмісті вуглецю.

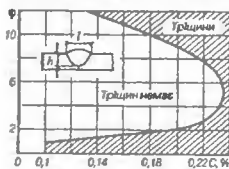


Рис. 22.9. Вплив коефіцієнта форми шва $\psi = \frac{L}{r}$ і вмісту вуглецю C на можливість утворення тріщин

Холодні тріщини найчастіше утворюються в зоні термічного впливу, рідше в металі шва зварних з'єднань середньо- і високолегованих 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 еластичності металу. Тому холодні тріщини виникають як при температурах розпаду залишкового аустеніту (120°C і вище), так і при кімнатній температурі через декілька хвилин, а часом і через більш тривалий термін після закінчення зварювання. Високі внутрішні напрути можуть також розвиватися внаслідок адсорбції розчиненого в металі водню на поверхнях внутрішніх дефектів і накопичення його в мікронецільностях. Вважають також, що холодні тріщини виникають при сповільненому руйнуванні металу під дією напружень, які накопичуються на межах зерен. Ці напруження є перпендикулярними напрямку дії нормальних напружень.

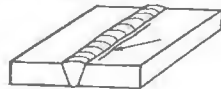


Рис. 22.10. Холодні тріщини в більшій зоні

Непровари — це ділянки зварного з'єднання, де відсутнє сплавлення між зварними деталями, наприклад, у корені шва, між основним і наплавленим металом (по кромці), або між суміжними шарами наплавленого металу (рис. 22.11).

Поверхні непровару покриті тонкими окисними плівками 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 розтрікування.

Непровари можуть бути викликані багатьма причинами: малим кутом розкриття кромки, малим зазором, великим притупленням при недостатній силі струму, великою силою струму зварювання, зменшенням електродної відосі шва, особливо при зварюванні двобічних

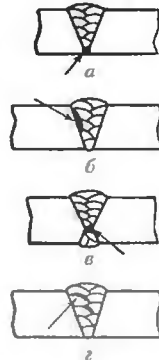


Рис. 22.11. Непровари:

а — в корені одностороннього стикового шва; б — по кромці між основним і наплавленим металом; в — у корені двобічного шва; г — між шарами

швів, недостатнім очищенням шлаку перед накладанням наступних шарів, порожкоподібним матеріалом при зменшеній силі струму і великій швидкості зварювання, низькій кваліфікації зварника.

Неповари є дуже небезпечними дефектами зварювання.

Пори — це порожнини в металі шва, заповнені газами. Вони мають сферичну або близьку до неї форму. В зварних швах вуглецевої сталей пори часто мають трубчасту форму. Почергово, 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 (порожини неправильної форми і більших, чим пори розмірів), а також свищі, що виходять на поверхню. Крім поодиноких пор, викликаних дією випадкових факторів, у зварних швах можуть появлятися пори, які рівномірно розподіляються по всьому перерізу шва, розташовуються у вигляді ланцюжків або окремих купчень (рис. 22.12).

До основних причин, які викликають появу пор відносяться: погане очищення зварних кромок від іржі, масел та інших забруднень, підвищений вміст вуглецю в основному або присадковому матеріалі, велика швидкість зварювання, при якій не встигає пройти газовиділення і пори залишаються в металі шва, велика вологість електродних покрив, флюсу, зварювання при несприятливих погодних умовах.

Шлакові включення — це порожнини в металі зварного шва, заповнені шлаками, які не встигли виплисти на поверхню шва (рис. 22.13).

Шлакові включення утворюються при великій швидкості зварювання, при сильних забрудненнях кромок і при багатозаровому 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 аргондуговому зварюванні нешлавним електродом (наприклад, алюмінієвих сплавів), у яких вольфрам не розчиняється.



Рис. 22.12. Пори



Рис. 22.13. Шлакові включення

Частинки вольфраму, які потрапили внаслідок нестабільності режиму в розплавлену зварювальну ванну, значаїно вануються в неї через велику щільність. На рентгенівських знімках вольфрамові включення виглядають як ізольовані або групові яскраві плями неправильної форми.

Оксидні включення можуть виникати в металі зварних швів при наявності труднорозчинних оксидів, наприклад Al_2O_3 при великих швидкостях кристалізації шва. Розташовуються у вигляді пльок, вони утворюють у металі шва нещільності з малим розкриттям і їх незадовільний вплив на механічні властивості зварних швів може бути сильнішим, 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 стиків — 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 контрольним об'єктом;
- за первинними інформативними параметрами, розглянутими методів контролю;
- за способами індикації 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), тешошукач.

До неруйнівних видів контролю слід віднести і контроль зовнішнім оглядом та обмірюванням, який має суттєве значення для одержання якісних зварних конструкцій.

До руйнівних видів контролю відносяться механічні випробування зварних з'єднань. Для оцінки механічних властивостей зварні з'єднання піддають різним випробуванням. Механічні випробування зварних з'єднань застосовують у тих випадках, коли потрібно визначити якість зварювальних матеріалів, розробити оптимальні технологічні режими (особливо при зварюванні спецсталей), і при перевірці кваліфікації зварників, чи при їх перестатції.

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, дрот, флюс і захисні гази.

У литих виробках, металопрокатах перевіряють наявність сертифікату, заводського маркування і відповідності їх проекту. Зовнішнім оглядом установлюють наявність раковин, розшарувань, тріщин, у трубі — якість скосу кромок, у заготовках із спецсталей — відповідність хімічного складу і механічним властивостям.

Зварювальні електроди піддають зовнішньому огляду з метою виявлення механічних пошкоджень покриття, відсутності корозії стрижня під ним, а також визначення товщини нанесеного покриття.

Покриття електродів діаметром до 4 мм і більше не повинне руйнуватися при вільному падінні електрода на гладку сталюю плиту з висоти 1 м і 0,5 м відповідно. Можуть допускатися часткові відкопи покриття до 5% довжини покритої частини електрода. Придатність електродів установлюють за результатами технологічної проби. При цьому визначають характер плавлення електронного стрижня й покриття, якість формування зварного шва, ступінь розбрикування, утворення «дашка», легкість відділення шлаку та ін. Оглядом поверхні шва визначають наявність пор, які виходять на поверхню, у зломі 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 очищені 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 встановлюють якість формування зварного шва, ступінь розбрикування, легкість відділення шлаку, утворення пор, так як і при перевірці електродів.

Зварювальний флюс контролюється методом перевірки грануляції й технологічної проби, яка дозволяє, як і у випадку перевірки електродів і зварювального дроту, визначити за зовнішнім оглядом шва і його зламу якість формування, поро- і шлакоутворення,

відділення шлаку. При зварюванні відновдальних конструкцій флюс перед роботою перевіряють на гранулюючі властивості, склад, однорідність, насинну щільність і забрудненість. При вологості понад 0.1% флюс просушують.

Захисні гази (*вуллекислий газ, аргон*) при наявності сертифікату заводу-виротівника 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 кромок (рівномірність і величину кута прокриття, відсутність місцевих врівнів), наявність і величину притуплення, перевищення кромок, величину й рівномірність зазору. Особливу увагу приділяють перевірці чистоти поверхонь кромок 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, підігріву.

22.7.2. Процес зварювання

Візуальне спостереження за виконанням зварювання дозволяє не допустити значної частини дефектів зварного шва. Правильності 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 цією метою використовують і поширену 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 обмірвання 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: підірзи, поверхневі

пори та синці, нальви, провали, незварені кратери, тріщини, які виходять на поверхню, а також несправи (у випадку двобічного доступу до зварного з'єднання). При огляді попередньо очищеної від шлаку і бризок поверхні швів і близьких зон застосовують луни і при необхідності додаткове місцеве освітлення. Розміри швів, ширину, висоту посилення, плавність переходу від посилення до основного металу, катет шва перевіряють за допомогою спеціальних шаблонів.

22.7.4. Фізичні основи контролю

Зварні з'єднання багатьох конструкцій, наприклад, газгольдерів, трубопроводів повинні мати не тільки міцність, але й непроникуваність для рідин і газів. Непроникуваність зварних з'єднань спричинюють втрату продуктів і небезпеку зараження довкілля. Слід зауважити, що токсичні продукти знижують корозійну стійкість зварних швів, створюють інші порушення, негативно впливають на роботу зварних конструкцій. Якщо до зварних з'єднань ставляться вимоги непроникуваності 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, наливанням води і поливанням водою. Вибір способу, основні параметри випробувань (величина тиску, витривка й герметичність) установлюють відповідні ТУ та правила Держнаглядохоронпраці України.

При *випробуванні гідравлічним тиском* виріб заповнюють 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 крутлим 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 спадом тиску на манометрі під час випробування.

Випробування наливанням 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 заповнюють водою (до передбаченого ТУ рівня) і після певного часу всі з'єднання піддають зовнішньому огляду. Контроль проводиться при шкочових температурах.

Випробування поливанням водою проводять у тих випадках, коли є можливість вільного 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, пневмогідралічним 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 пензлем 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	50	—	—
Мило господарське, 65%, г	—	50	—
Гліцерин	—	5	—
Коринь солода (лакрици)	—	—	50

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 пневмогідралічним методом проводять шляхом заповнення посудини в індикаторну рідину і подачі контрольного газу. Дефекти визначають за появою бульбашок.

Випробування вакуумуванням проводять за допомогою вакуум-камери (рис. 22.14).

Камера складається з листового оргстекла (наприклад, прямокутної форми), з одного боку якої в периметром приклеєна губчаста гума, яка є ущільнювачем. В оргстеклі є отвір, через який за допомогою штангів камеру з'єднують з вакуумним насосом або інжектором.

Для випробування на щільність ділянку зварного шва покривають сумішшю, яка утворює піну, потім накладають вакуумну камеру, яку притискають 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 крейдюю або фарбою. Трехходовим краном упускають атмосферне повітря в порожнину камери, знімають її і переміщують її на сусідню ділянку. Послідовно пересуваючи камеру, можна випробувати шви будь-якої довжини. В інституті зварювання ім. С. 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 випробування газом: газовий, газопневматичний, газовакуумний і газосвітліний.

При **газовому способі** на зварне з'єднання, очищене від шлаку та інших забруднень, наносять тонкий шар крейдяної суспензії за допомогою пульверизатора. Крейдяну суспензію виготовляють із розрахунку 350–450 г меленої просіяної крейди або каоліну на 1 л води або розчинника (визуку). Після висихання суспензії

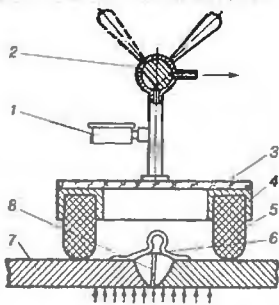


Рис. 22.14. Схема контролю переносною вакуум-камерою:

1 — вакуумметр, 2 — трехходовий кран, 3 — оргстекло, 4 — рамка, 5 — губчаста гума, 6 — мильна бульбашка, 7 — контрольована вироб, 8 — дефект зварного шва

протилегній бік зварного шва багаторазово (5–15) змочують газом. У місцях суцільних дефектів на крейдяній суспензії з'являються темні плями. При багаторазовому змочуванні шва виявлення дефектів проходить у 2,4–3,3 рази швидше, ніж при одноразовому.

Для кращої фіксації дефектів, особливо в спеку рекомендується до газу додавати фарбу «Сулдан III» із розрахунку 2,5–3 г на 1 л. Фарба зафарбовує газ у червоно-лілового колір. Для контролю напукотаних 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 крейдяною суспензією з'єднання встановлюють вакуумну камеру і створюють розрідження, яке сприяє проникненню газу через дефекти.

Газосвітліний спосіб відрізняється тим, що зварні з'єднання обприскують газом у процесі вібрації.

Випробування газом застосовують її у випадку, коли до зварних швів є тільки однобічний доступ. Зварні шви очищають від забруднень, витирають, потім змочують 3–4 рази зафарбованим газом, який через 15–20 хв видаляють з поверхні шва (протирають або промивають 5%-вим водним розчином кальцієвонаного соди). Висушують поверхню зварного з'єднання покривають з пульверизатора тонким шаром крейдяної 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 гідравлічного 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%-вим водним розчином азотно-кислого ртуті або розчином фенолфталеїну. Тиск газу становить 0,1–0,15 МПа, час витримки — 1–15 хв. У якості індикаторів використовують також желеподібні маси, які наносять на контрольовані поверхні зварних швів; у якості контрольного газу — суміш аміаку (3%) з азотом (97%) або вуглекислий газ.

22.10. ГАЛОЇДНИЙ МЕТОД

При даному методі наявність суцільних дефектів установлюють за допомогою галоїдного течепошукача. Розрізняють два способи галоїдного контролю: вакуумування і спосіб шуга. Відповідно до цього галоїдні течепошукачі мають два типи датчиків: атмосферний, вакуумний. Атмосферний датчик складається з платинового аноду — емітера та колектора. Анод — це керамічний стержень, на який намотано спіраль; він поміщений у середину трубочного колектора. Проміжок між колектором і емітером заповнений атмосферним повітрям. У вакуумному датчику цей проміжок вакуумується, а сам датчик додатково комплектується інжектором.

При контролі способом шуга за контрольованого виробу, який попередньо перевірили радіаційним чи акустичним методом, гідровипробуванням на міцність, відкачують повітря і заповнюють контрольним газом, наприклад, фреоном. Потім тиск фреону доводять до випробувального і не реміщують шугу датчика галоїдного течепошукача по поверхні зварних з'єднань. При наявності течей фреон просочується через них ізольовані й засмоктується в трубку датчика непрямотом, який у ньому є. При роботі течепошукача 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 відносно заряджений колектор. Вишквк іонний струм. Іони галоїдного газу мають високий від'ємний потенціал. Протрапляючи у проміжок між емітером і колектором, вони посилюють іонний струм, який реєструється приладом із стрілкою і звуковим індикатором — телефоном. Видин іонів галоїдів посилюється, якщо на емітері є лужні елементи. Яку ж дію має й кисень, який при роботі у вакуумі подають у трубку шуга 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 неструйний і дешевий.

22.11. КОРТРОЛЬ КАПЛЯРНИМ МЕТОДОМ

Каплярний метод контролю використовують для виявлення поверхневих дефектів зварних з'єднань (мікротріщин і тріщин), які виходять на поверхню виробу; дрібних поверхневих пор і вузьких несправ, які важко виявити при зовнішньому огляді.

Цей метод особливо важливий для контролю відповідальних зварних з'єднань аустенітичних, нержайючих, жароміцних і жаро-

стійких сталей, алюмінію, латуні, властивості яких обмежують можливості використання інших методів контролю.

Розміри поверхневих дефектів — мікроскопічна розкриття і макроскопічна прозякість, надають їм властивості каплярів. Тому й метод контролю, якими виявляються ці дефекти, називають каплярним.

Розрізняють три методи каплярного контролю: люмінесцентний, метод фарб (кольоровий) і люмінесцентно-кольоровий.

В основі **каплярної 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 проявлюючу суміш. Індикаторна рідина, що залишилася в дефектах, утворює на фоні прозякшия рисунку, за яким роблять висновок про наявність дефекту (рис. 22.15).

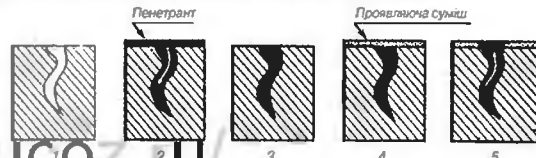


Рис. 22.15 Основні етапи контролю каплярними методами:

1 — очищення від забруднень; 2 — нанесення пенетрантів; 3 — видалення пенетранту з поверхні; 4 — нанесення проявлюючої 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, сушінні підігрітим повітрям до 50–60°C, нанесенні проявлюючої суміші і виявленні дефектів шляхом огляду в ультрафіолетових променях або при природному освітленні.

Найпоширеніші індикаторні рідини — пенетранти, які одержують на основі газу:

№1. Газу — 64, 5, норіолу — 25, бензину — 10 і 0, 5 емульгатору ОН-10 (або ОП-7).

№2. Газу — 84, 5, авіаційного масла — 15 і 0, 5 емульгатору ОН-10 (або ОП-7).

№3. Газу — 50, бензину — 25, трансформаторного масла — 24,97 і 0, 03 зелено-золотистого дефектоло.

У якості освітлення для видалення індикаторної рідини використовують воду під тиском. Залишки люмінесцентних речовин нейтралізують. При ідкому сорбційному способі проявлення використовують порошки гальку, нуглекислого 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 люмінесцюють 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 виявити дефекти зварних з'єднань — тріщини, непровари, шлакові включення, газові пори (поверхневі та на глибини 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 феромагнітному 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 феромагнітному матеріалі

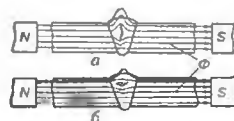


Рис. 22.17. Поле розсіювання над дефектами, розташованими перпендикулярно (а) і вздовж (б) магнітного потоку

У місцях, де є дефекти, суцільність матеріалу порушується. Середовище дефектів виявляє великий опір магнітному потоку, який відхиляється і обтікає дефект. Магнітне поле в цьому місці стає густішим, частково виходить за межі деталі, поширюється в повітрі і входить у виріб за межами 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. Феромагнітні частинки цих порошоків, потрапляючи в неоднорідне магнітне поле, прагнуть під його дією зосередитись у тих місцях, де його силові лінії згущаються, тобто біля краєчок дефектів; і над місцями, де вони розташовані, якщо дефекти поверхневі.

Застосовують порошки чорного або цегляно-червоного кольору (порошки технічного і світлішого магнетиту, порошок феромагнітного оксиду заліза, розмелену окалину). Використовують також магніто-люмінесцентні порошки.

Контроль магнітопорошковим методом проводять сухим і мокрим способами. При сухому — за допомогою пульверизатора або сита напильють 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 впливом пропускання електричного струму (постійного, змінного, імпульсного).

Магнітопорошковий метод контролю здійснюється за допомогою стаціонарних, пересувних і переносних дефектоскопів. Для важких умов використовують пересувні 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 очищають від бруду, води, металевих бризок, залишків шлаку; попередньо розмагнічену магнітну стрічку вкладають на контрольоване з'єднання і щільно притискають до поверхні гумовим наосом; виробі намагнічують електромагнітом, який переміщують вздовж шва. При цьому магнітні поля

розсіювання, що появляються в місцях розташування дефектів, фіксуються на магнітній 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 запис полів дефектів проводиться на неперервну магнітну стрічку, виготовлену у вигляді замкнутої петлі.

Ідентифікацію контролю як імпульсу, так і відео проводиться відразу ж після запису поля дефекту, після чого запис стирається, розмагнічується і цю ділянку стрічки знову можна використовувати. Для фіксації якості шва можна проводити запис на паперову стрічку, а місця дефектів позначати за допомогою різноманітних приладів, які відзначають дефекти і спрацюють за максимальним сигналом.

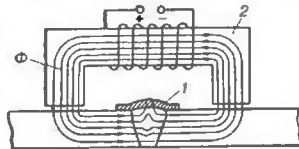


Рис. 22.18. Схема проведення магнітографічного контролю: 1 — магнітна стрічка; 2 — електромагніт

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 несповари), 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 вказаними імпульсами роблять висновки про глибину залегання дефекту.

При тіньовому методі (рис. 22.19 б) шукачі 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 донної поверхні виробу і ослабленого наявними нещільностями.

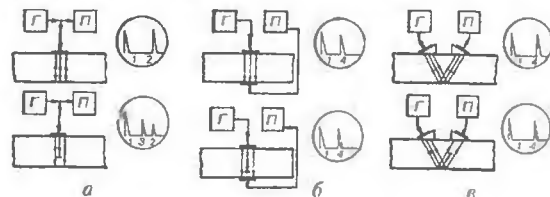


Рис. 22.19. Схема ультразвукового контролю ехо-імпульсним (а), тіньовим (б) і дзеркально-тіньовим (в) методами

Найчастіше застосовують високочутливий ехо-імпульсний метод, у якому послідовно працює шукач і функції випромінювача та приймача.

Ультразвуковий контроль ґрунтується на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від поверхні поділу двох середовищ. У дефектоскопії застосовують ізоелектричний спосіб утворення ультразвукових хвиль, який ґрунтується на збудженні механічних коливань (вібрації) у п'єзоелектричних 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 коливаннями п'єзоелектричних датчика; частоти ультразвукових коливань звичайно перевищують 20000 Гц. За допомогою п'єзометричного щупа ультразвукового дефектоскопа, який розміщують на поверхні зварного з'єднання, в метал надсилають спрямовані електрозвукові коливання (рис. 22.20).

Ультразвук вводять у виріб окремими імпульсами під кутом до поверхні металу. При зустрічі з дефектом виникає відбита ультразвукова хвиля, яка сприймається іншим щупом або тим самим під час паузи між імпульсами. Відбитий ультразвуковий сигнал перетворюється в електричний, підсилюється і подається на трубку осцилографа, де фіксується дефект у вигляді піку на скрині осцилографа.

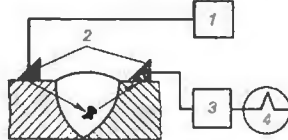


Рис. 22.20. Ультразвуковий контроль: 1 — зондувальний імпульс; 2 — донний імпульс; 3 — імпульс від дефекту; 4 — імпульс ультразвукових коливань, від пройшли контрольованого виробу

22.14. КОНТРОЛЬ РАДІАЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Можливість неруйнівного контролю радіаційними методами заснована на здатності іонізуючих випромінювань, які випускає джерело, проникати з різним ступенем послаблення через зварне з'єднання і діяти на пристрої (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 розміщується джерело 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, неуроварі, крупні тріщини на плівці утворюються темні плями. Вигляд і розміри дефектів визначають порівнянням плівки з еталонними знімками.

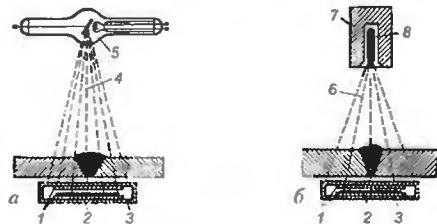


Рис. 22.21. Схема просвічувача зварних швів:

а — рентгенівський випромінювання; б — гама-випромінювання; 1 — підсилювальний екран; 2 — рентгенівська плівка; 3 — касета; 4 — рентгенівська випромінювання; 5 — рентгенівська трубка; 6 — гама-випромінювання; 7 — свинцевий щиток; 8 — ампула радіоактивної речовини

Просвічування не дозволяє виявити тріщини, якщо вони розміщені не в напрямі центрального променя (кут більше 5°), а також неуроварі у вигляді злипання зварювальних металів без газового чи шлакового пропарку. Цим способом визначають дефекти в метали товщиною до 60 мм.

При **рентгеноскопії** одержують сигнал про дефект при просвічуванні металу на екрані.

Екран 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-192 та ін.

Ампулу з радіоактивними ізотопами вміщують у свинцевий контейнер. Техніка просвічування аналогічна до рентгенівської. 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; недолік — мінша чутливість, неможливість регулювання інтенсивності випромінювання (в рентгенівських апаратах регулюється напругою, яка підвищується). 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 піддаються різним випробуванням. Механічні випробування зварних з'єднань застосовують у випадку, коли потрібно визначити якість зварювальних матеріалів, розробити оптимальні технологічні режими (особливо при зварюванні спечистацей), а також при перевірці кваліфікації зварників чи при їх чергастості.

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; імітує роботу зварних з'єднань при постійному навантаженні;

— динамічні випробування, при яких зусилля зростає миттєво і діє майже хвилю. Вони характерні для з'єднань, які працюють в умовах швидкозростаючих навантажень (ударів);

— випробування на втомлюваність, при яких навантаження миттєво змінюється за величиною або за величиною 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 надірзаних 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 імітують безпосередньо з контрольованих виробів, наприклад, із стиків трубопроводів або з контрольованих 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 їх 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).

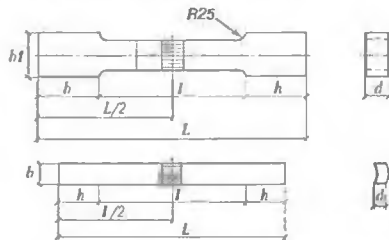


Рис. 22.22. Зразок для випробування на розтяг

При випробуванні на статичний (короткочасний) розтяг можна визначити границю текучості металу (рідна або умовна), тимчасовий опір, відносне видовження і звуження.

Випробування проводять на спеціальних машинах для визначення властивостей металу шва і різних ділянок біляшовної зони при всіх видах зварювання плавленням.

Випробування кутових з'єднань (таврових, напуктових) проводять значно рідше, оскільки довести складно виконати зразки.

При випробуванні на згин використовують зразки циліндричної або прямокутної форми (рис. 22.23).

Згин проводять на зразках із знятим посиленням і в бік, протилежний кореню шва (при однобічному зварюванні). За величиною допустимого кута згину залежно від матеріалу і його товщини роблять висновок про пластичні властивості зварного шва та біляшовної зони.

Випробування на зминання проводять для труб малого діаметру з подовжними та поперечними швами. Випробування проводять на пресі шляхом деформації зразка стискуючим навантаженням. Результати випробувань характеризуються величиною просвіту між епінгнутими поверхнями при утворенні першої тріщини (рис. 22.24).

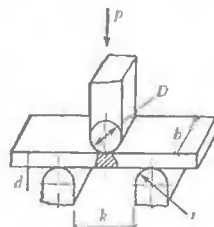


Рис. 22.23. Схема випробування на статичний згин; D — діаметр пуансона

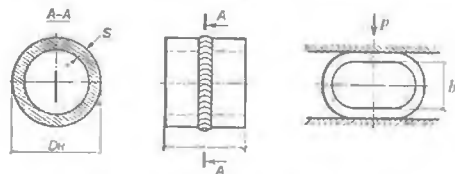


Рис. 22.24. Зразок і схема випробування на зминання

22.15.2. Динамічні випробування

Динамічні випробування розрізняють за характером деформації, температурними умовами, кількістю і циклом навантажень. До основних видів динамічних випробувань зварних з'єднань відносяться випробування на ударну в'язкість. Випробування на

ударний згин завдяки відносної простоті виконання і точності результату є найпоширенішим (рис. 22.25). При цих випробуваннях визначають ударну в'язкість шва, різних ділянок більшої зони і наплавленого матеріалу.

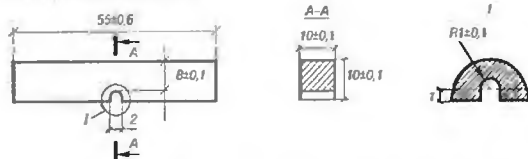


Рис. 22.25. Зразок для випробування на ударний згин

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 втомлюваність, 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 кромок, 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. Відносно будуть відрізнятися їх властивості й хімічний склад. Вивчення структурних складових 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 мікроструктуру зварного шва і зони термічного впливу. Крім цього, на шліфах для металографічних випробувань визначають твердість різних зон зварного з'єднання.

Для вивчення виду злому використовують зразки, які зруйнують при випробуваннях різних швів. Огляд злому проводять неозброєним оком або за допомогою лупи з десятикратним збільшенням. Пластичне руйнування характеризується утворенням «шийки» в зразках, які випробовуються на розтяг. Пластичні метали дають волокнистий сирій злом із матовою поверхнею. Це свідчить про наявність більш спрятливих дрібнозернистих структур.

При крихкому руйнуванні зміна розмірів зразків незначна, злом має блискучий кристалічний вигляд, метал відрізняється крупнозернистою структурою з низькими пластичними властивостями.

Зразки руйнуються у місцях наявності дефектів, які легко виявляються на зломі. Пори виглядають як круглі або витягнуті пустоти з гладкими стінками. Гарчі тріщини характеризуються темною окисненою поверхнею; поверхня металу холодних тріщин блискуча; пустоти з гострими краями вказують на наявність сторонніх включень (іноді у зломі зберігаються й самі включення).

Таким чином, за видом злому можна робити висновок про будову металу в місці злому, про його однорідність, суцільність 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, ліквідаційні зони, усадкову пористість, форму, розміри й напрям росту кристалів.

Макроаналіз проводять на спеціально заготовлених зразках-макроріліфах. Для приготування ріліфів із зварних з'єднань вирізають плоскі заготовки — теґилети. Вирізування виконують уперек 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 послідовно обробляють різанням або абразивом, шліфують, знежирюють і піддають травленню спеціальними реактивами. Різні зони зварного з'єднання неоднаково взаємодіють із реактивами, тому окремі ділянки втрачають відображувальну здатність і проявляються у вигляді затемнених «кладових».

Рельєф, утворений затемненими і світлішими ділянками, відтворює картину структури.

Мікροаналіз — це дослідження спеціально виготовлених мікрослівів за допомогою металографічних мікроскопів, які дають збільшення в 50–2000 і більше разів. При вичіпці мікрослівів 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 процеси кристалізації металу шва.

Мікросліви 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 звичайному шліфуванні глибина шару із створеною дією образива структурою становить 50–100 мкм, оскільки глибина травлення для виявлення мікроструктури не перевищує 10 мкм. Шар із створеною 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 пасти. Полірування виконується на спеціальних станках з горизонтально розташованим полірувальним кругом, який обертається від електроприводу. Потім зразки промивають водою, спиртом і відразу ж піддають травленню. У якості реактивів для мікрослівів із низьковуглецевих низько- і середньолегованих сталей найчастіше використовують слабкі спиртові розчини кислот.

Дуже високу якість мікрослівів можна одержати при електролітичному поліруванні й травленні. Для цього їх занурюють у ванну з електролітом і пропускають електричний струм. Мікроветушні зразки під дією струму розчиняються. При цьому поверхня шліфа одночасно полірується і протравлюється. Цей метод дає можливість повністю ліквідувати свідчання 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 вдавленні 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 випробовування 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 і сплавів малої та середньої твердості. Суть методу полягає у вдавленні шарика визначеного діаметра у випробувальний зразок під дією певного зусилля.

Для випробування матеріалів великої твердості застосовують *метод Віккерса*, де наконечником для випробувань є алмазна піраміда, яка дозволяє перепірити твердість металевих малих перерізів і тонких шарів.

Для випробувань за *методом Роквелла* твердість вимірюється не за розмірами відбитка, а за глибиною проникнення алмазного конуса або сталевого шарика у випробуваний 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 зрізка із зняттям до рівня основного металу «пошліфлення».










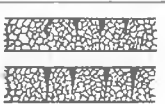
22.17. КОРОЗИЙНІ ВИПРОБУВАННЯ

Корозією називається зниження міцності зварних з'єднань, яке викликане незворотними фізико-хімічними перетвореннями, які проходять у метали під дією активних складових зовнішнього або робочого середовища. В основі корозійних явищ лежать два процеси: хімічний та електрохімічний. Хімічна корозія — це хімічна взаємодія між металом і середовищем. Інтенсивність визначається коєфіцієнтом агресивного компонента в середовищі, яке діє на метал. Тіші її види корозії відображені в таблиці 22.2.

Хімічна корозія має найбільше значення при підвищених температурах на межах металу з газовим середовищем. Її називають газозовою корозією.

Цей процес розпочинається 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-приводним середовищем. Різні зони зварного з'єднання мають на поверхні різні електролітичні потенціали і внаслідок цього можуть виступати в ролі мікроелементів. Такими мікроелементами є зварний шов, зони нагріву, перекристалізації, максимальна пластична деформація та основний метал.

Основні типи і види корозії

Тип і вид корозії	Характер руйнування
<i>1. Загальна корозія:</i>	
рівномірна	
зосереджена на шві	
зосереджена в зоні термічного впливу	
на основному металі	
<i>2. Місцева міжкристалічна:</i>	
в зоні термічного впливу	
пожога в зоні плавлення	
у зварному шві	
гочкова	
<i>Корозійна втолюваність:</i>	
корозійне розтріскування	
повторно статистична, циклічна	

Серед загальної корозії найбільш небажаними є ті її види, які мають зосереджений характер. Місцева міжкристалічна корозія, яка виникає переважно у зварних з'єднаннях хромістелих і хромоалюмінієвих 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 втомлюваності. Цей вид руйнувань викликає сильну дію корозійного середовища і напружень при статичних навантаженнях (корозійне розтріскування), а також при статичних і циклічних навантаженнях. Небезпека цих руйнувань у тому, що їм притаманні крихкість, можуть розвиватись міжкристалічні та транскристалічні тріщини. Їх виникнення може призвести до раптового виходу з ладу відповідальних конструкцій.

Корозійну стійкість оцінюють за основним методом. При цьому гравітаційні зразки піддають дії сильних кислот протягом певного часу, потім зважують і встановлюють в грами 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 причини 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. Хімічним аналізом шва можна встановити чи відповідає вміст вуглецю, кремнію, марганцю і основних легуючих елементів нормі.

Метал для хімічного аналізу відбирають 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 якісно 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 під зварювання?
7. Які методи контролю відносяться до гідравлічних і пневматичних, їх фізичні основи?
8. У чому суть капілярного методу контролю?
9. У чому суть контролю магнітними 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 шві з'являється тріщина. Вкажіть причину та спосіб ліквідації.
16. Виберіть метод контролю для визначення дефектів при зварюванні труб.
17. У шві не заварений кратер. До чого це може призвести?
18. Які дефекти є найбільш небезпечними для посудин, які працюють під тиском?
19. Як впливає корозія 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 визначити твердість металу?
25. Назвіть основні гідри контролю зварювання магнітними методами.
26. Як здійснюється галогенний контроль?
27. Охарактеризуйте індикаторні ріднини.
28. Охарактеризуйте магніторозшочковий 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 зварнику 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-заклучний час;
- допоміжний час;
- час обслуговування обладнання і відпочинок.

Основний, або машинний час включає час горіння дуги або час плавлення електрода при зварюванні 1 м шва. Основний час визначають і підраховують з урахуванням технологічного процесу зварювання, продуктивності зварювання обладнання та режимів зварювання.

Підготовчо-заклучний час включає в себе отримання завдання, інструктаж, вибір режиму зварювання, встановлення балонів, підготовку джерела живлення, задачу готової продукції.

Допоміжний час складається з часу на встановлення деталі, поворот її в процесі зварювання, регулювання струму, розгрівання кромки, перехід з одного місця на інше, огляд шва, очищення кромок і шва, клеїмування її прибирання виробу тощо.

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби включає в себе прибирання робочого місця та устаткування.

У більшості випадків підготовчо-заклучний 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 електрода.

Масу наплавленого металу визначають за розмірами шва, які вказують на кресленні. Об'єм наплавленого металу визначають за формулою:

$$V_H = F l,$$

де V_H — об'єм наплавленого металу, см³; F — площа поперечного перерізу шва, см²; 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, см³; γ — густина металу, г/см³ (для сталі $\gamma = 7,8$ г/см³).

Силу зварювального струму ($I_{зв}$) встановлюють залежно від діаметра електрода, просторового положення шва та інших даних.

Коефіцієнтом наплавлення (α_H) визначають кількість металу, наплавленого протягом 1 год горіння дуги на одиницю сили струму (г/А·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, г/А·год
УОНИ-13/45	8,5
ЛНО-11	10,5
ЦМ-7	10,6
МР-3	7,8
ОММ-5	7,25
ЛНО-1	15,0
СМ-11	9,5
ОЗС-2	8,5
ЛНО-3	8,5
ЦЛ-9	9,0

Основний час зварювання ($t_{зв}$) визначають за формулою:

$$t_{зв} = \frac{Q_H}{I_{зв} \alpha_H}.$$

Допоміжний час при ручному зварюванні складається з часу, витраченого на вмикання і вимкання джерела живлення, зміну електродів, зачищення кромки, встановлення і зняття деталей, зачищення шва, огляду швів тощо.

Витрати підготовчо-заключного і допоміжного часу на обслуговування робочого місця і відпочинку 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 НАПЛАВ АВТОМАТИЧНОГО ТА АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Норму часу на автоматичне і напівавтоматичне зварювання визначають за таким же методом як і на ручне дугове зварювання. При чому 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 г/А·год. Витрати дроту ($Q_{др}$) при автоматичному зварюванні становлять $Q_{др} = 1,1 Q$, 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 її 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 відпочинку становить 10–13% основного часу зварювання.

23.4. НОРМУВАННЯ НАПЛАВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

При розрахунках норми основного часу на наплавлення шкоро пристовують погодинну продуктивність, тобто враховують кількість наплавленого металу за 1 год.

Для ручного дугового наплавлення час наплавлення ($xв$) однієї деталі (t_H) визначають за формулою:

$$t_H = \frac{60 Q_H}{I_{зв} \alpha_H} K,$$

де $K = 1,5$ — коефіцієнт, який враховує допоміжний час та технічне обслуговування і перерви на відпочинок; $\alpha_H = 12–18$ г/А·год — коефіцієнт наплавлення.

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ

Допоміжний час становить 30–50% основного часу і його встановлюють за допомогою хронометражного спостереження.

При наплавленні порошковим дрютом 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 погодинна 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. Як 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 струм зварювального струму?
11. Як визначають основний час при ручному дуговому зварюванні?
12. З чого складеться допоміжний час при ручному зварюванні?
13. Як витрати електроенергії при зварюванні на змінному і постійному струмі?
14. Від чого залежить коефіцієнт наплавлення при напівавтоматичному зварюванні?
15. Яка тривалість підготовчо-заключного 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?

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 привести 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 незахищені органи зору і шкіру	Електроофтальмія, катаракти, опіки шкіри	Дугове зварювання в захисних газах і відкритою дугою
Дія токсичних речовин	Утворення токсичних газів, парів і аерозолів, які складаються із оксидів 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, травлення, пневмоконіоз	Дугове зварювання покриттими електродами і під флюсом, зварювання і різання шкочованих і кольорових металів

Вид травматизму і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид зварювання та різання
Вибухонебезпечність при роботах із застосуванням кистю, з емоціями під тиском, при ремонті посудин із під горючого	Утворення вибухових сумішей з повітрям і кшнем Ударна дія, нетривале транспортування або експлуатація, перегрів газових балонів	Наслідки вибухів Те ж	Термічне різання Зварювання дугове і в закислених газах, термічне різання
Теплові опіки	Утворення сумішей з повітрям, парів горючих рідин (у замкненому просторі) вибухонебезпечних при дії високих температур	Те ж	Дугове зварювання, термічне різання
Меторологічні умови	Дія на незахищену шкіру високої температури дуги, іскр, нагрітого металу, флюсу і т.д.	Опіки різного ступеня	Зварювання всіх видів з нагрівом, термічне різання
Пожжезна небезпека	Низька і висока температура повітря, сильні повітряні потоки, опад	Переохолодження, перегрів, протудії явища	Зварювання, термічне різання на будівельних площадках
	Дія на ноги небезпечний матеріал відкритої дуги, іскр, розпавляного металу, флюсу тощо	Наслідки пожежі	Зварювання всіх видів з нагрівом, 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 ширини в ньому, оскільки сила струму, що протікає через організм людини, зворотно пропорційна опорю (за законом Ома); мінімальний розрахунковий опір людини становить 1000 Ом.

Розрізняють два види ураження електричним струмом: електричні удари і травми.

При електричному ударі уражаються серцева 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 двофазне коло, коли на неї діє повна напруга кола при порівняно невеликому 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 вору протягом 10–30 с у радіусі до 1 м від дуги, може шкідливо впливати на дачини, слюзотечу і світлобоязн. Тривала дія світла дуги за таких умов може призвести до більш тяжких захворювань (слектрофтальмія, катаракта). Промени зварної дуги діють на органи зору на відстані до 10 м від місця зварювання. Підвищена яскравість променів дуги спостерігається в захисних газах, особливо при зварюванні плавким електродом автоматично в аргоні.

Шкідливі речовини (гази, пара, аерозолі) при зварюванні виділяються в результаті фізико-хімічних процесів, які випадають при плавленні і випаровуванні зварного металу, компонентів покриття електродів і зварних флюсів, а також за рахунок реакції газів від дією високої температури.

Повітряне середовище в зоні зварювання і оточуючому просторі може забруднюватися зварювальними аерозолями, які в основному складаються з оксидів зварювальних металів (заліза, марганцю, хрому, цинку, свинцю та ін.), газоподібних жирних кислот, а також оксиду вуглецю, азоту і озону.

Дія зварювального аерозолі може призвести до появи професійних інтокикацій та пневмококозу, розвитку і тяжкості перебігу яких залежить від хімічного складу й концентрації шкідливих речовин.

Близько 80% виявлених випадків професійних захворювань зварників в Україні зумовлені дією зварювальних аерозолей на органи дихання.

Вибухонебезпеки зумовлюються застосуванням при зварюванні і різанні кистю, 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 і різанні, особливо при обмеженій можливості огляду робітником оточуючого простору при виконанні робіт із використанням щитків, 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 і різанні зумовлюється тим, що температура плавлення металу перевищує 1000°C, в рідкі горючі речовини, дерево, папір, тканини та інші легкозаймисті матеріали загораються 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 корпус зварювальних апаратів і установок, затискач вторинного кола зварювальних трансформаторів, призначені для відключення зворотного проводу; зварні пилоти і 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 ізоляцію зварювальних проводів, зварювального інструмента та обладнання, а також надійність усіх контактних з'єднань зварювального кола.

4. При тривалих перервах зварювального процесу відключити джерело зварювального струму.

5. Металеві конструкції й трубопроводи (без гарячої води або вибухобезпечного середовища) рекомендується застосовувати у якості зворотного проводу зварювального кола тільки у випадках, коли їх зварюють. Забороняється використовувати у якості зворотного проводу зварювального кола контури заземлення, труби санітарно-технічних пристроїв, металоконструкції закінчених будов і технологічного обладнання.

6. При прокладанні зварювальних проводів і їх переміщенні не допускати пошкодження ізоляції та контакту проводів з водою, маслом, сталевими канавками, рукавами (шліптані) і трубопроводами з горючими газами й киснем, а також з гарячими трубопроводами.

7. Інстручі проводи електричного керування зварювальною установкою при значній їх протяжності для захисту від пошкоджень розміщують у гумовій або брезентовій рукаві. При необхідності зварювальний провід додатково обмотують брезентовою стрічкою.

8. Надійно заземляти металевий корпус осцилятора, конструкція якого повинна забезпечувати автоматичне виключення струму при відкритті його джерел.

9. Не ремонтувати зварювальне обладнання та установки, які знаходяться під напругою.

10. При зварюванні в особливо небезпечних умовах (усереднені металевих емкостей, трубопроводів у тунелях, на поїздах) слід:

— електрозварювальні установки оснащувати пристроями автоматичного відключення напруги холостого ходу або обмеження його до напруги 12 В з витримкою не більше 0,5 с;

— виділяти допоміжного робітника, який повинен знаходитися поза емкістю для спостереження за безпекою роботи зварника. Зварника видають поє із шнуром, кінець 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 з спецв'язі.

При ураженні електричним струмом необхідно:

— терміново відключити струм найближчим вимикачем або перервати потік струму від струмоносних частин, використовуючи сухі піщані матеріали (дошку тощо), після чого покласти його на теплу підстилку і по можливості вірити;

— негайно викликати медичну допомогу, враховуючи, що затримка понад 5–6 хв може призвести до непоправних наслідків.

— якщо постраждалий втратив свідомість, то його негайно розлягають, з ротової порожнини видаляють сторонні предмети, відлягають язик (щоб не впадав) і негайно приступують 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 ручні щитки, маски або каски, які виготовляються відповідно до вимог ГОСТу 12.4.035.

Ці вимоги регламентують захисні характеристики (відсутність провисання випромінюваної дуги, стійкість матеріалу корпусу до бризок розплавленого металу, питомі електрична міцність матеріалу корпусу, опір ізоляції каски), а також масу, габаритні розміри й міцність щитка. Найважливішим і відповідальним елементом щитків є світлофільтри, і призначені для захисту очей від ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного випромінювань. Світлове випромінювання дуги повинне бути послаблене світлофільтрами в 10^2 – 10^6 разів. При цьому світлофільтри повинні мати достатню величину пропускання у видимій області спектра, що необхідно для спостереження замістом зварювання.

Щитки широко застосовують скляні світлофільтри серії С, які поділяють на ІІІ класів. Вони забезпечують захист очей від випромінювань при зварюванні та струмак від 5 до 1000 А. Вибирок світлофільтрів залежно від виду зварювання і стилю струму відповідно до ГОСТу 21-6-87 (табл. 24.2).

Щитки випускають двох видів: із світлофільтром для нормального огляду (розмір 52x102 мм) і збільшеного (90x120 мм). Від поришки, провалів та інших пошкоджень зовні світлофільтр захищає скло товщиною до 2,5 мм. Усереднені також установлюють накладку з оргстекла товщиною не більше 2 мм.

Захисні ручні й головні щитки для електрозварників із світлофільтрами для нормального та збільшеного огляду призначені для зварювання швів складної конфігурації (перехід із шийного положення у стелове, 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	-	-	15-30	30-60	60-150	150-275	275-350	350-600	600-700	700-900	900	-
Плавкими електродами в інертних газах сталі	-	-	20-30	30-40	40-80	80-100	100-200	200-300	300-500	500-700	700-900	900
Легких сплавів	-	-	-	15-30	30-50	50-90	90-100	150-275	275-350	350-600	600-900	900
Вольфрамовими електродами в інертних газах сталі і легких сплавів	-	-	10-15	15-20	20-40	40-80	80-100	100-175	175-275	275-300	300-400	400-600
Плавкими електродами у вуглекислому газі сталі	30-60	60-100	100-150	150-175	175-300	300-400	400-600	600-700	700-900	900	швид	-

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. Принципи дії засновані на зміні коефіцієнта пропускання (прозорість фільтра) світлового випромінювання при запалюванні зварної дуги. Фільтр має три робочих стани: відкрите, закриті й проміжне. Забороняється зварювання «всліпу» і при частій зміні положення щитка при зміні 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 негорючих матеріалів (при непостійному робочому місці зварника і великих виробів).

Для послаблення контрасту між яскравістю світла дуги і поверхнею стін цеху (або кабіни) і обладнання їх фарбують у світлі тони з розсіяним відображенням світла, а також забезпечують хороше освітлення оточуючих предметів.

При ураженні очей світловою радіацією дуги необхідно негайно звернутися до лікаря, у випадку відсутності швидкої медичної допомоги очі промивають слабким розчином питної 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, порошковим дротом у вуглекислому газі	Усередній замкнутих просторах із поперечним підтримом виробів до 400°C	Захист тіла від підвищених температур та інтенсивного розбризкування розплавленого металу	Ізольований іскроствійкий костюм у комплекті з охолоджувальними елементами
	Те ж з поперечним підтримом до 150°C	Захист передньої частини тіла від підвищених температур, інтенсивного розбризкування металу	Брезентовий костюм з вогнетривким просочуванням і з захисними насадками, виготовленими з іскроствійкого й термостійкого матеріалу в комплекті з охолоджувальними елементами
У виробничих приміщеннях	Захист тіла від інтенсивного розбризкування металу в умовах нормального мікроклімату	Захист тіла від інтенсивного розбризкування металу в умовах нормального мікроклімату	Брезентовий костюм з вогнетривким просочуванням і з захисними насадками із шпильки (ТУ 17-08-123-85)
	Те ж у холодну пору року	Те ж в умовах понижених температур повітря	Брезентовий костюм з вогнетривким просочуванням і з захисними прокладками із іскроствійкого матеріалу з іскроствійним покриттям в комплекті з утепленими прокладками завдяки від кліматичних зон країни (ТУ-17-08-122-85, тип Б)

Вид зварювання	Умови праці	Призначення одягу	Рекомендований одяг
В шкертках газів	У виробничих приміщеннях	Захист передньої частини тіла і обличчя від електричних іттих випромінювань оптичного діапазону (ультрафіолетового) і незначного розбризкування металу	Костюм із поліетиленового брезенту із поліетиленовими накладками із тканини фенілоу, стійкої проти опромінювання, костюм з фенілово-бавовняної тканини (ТУ 17-08-325-91), калат із фенілово-бавовняної тканини (ТУ17-08-326-91)
Під флюсом	У виробничих приміщеннях	Захист від незначного і випадкового розбризкування шарового шлаку та окалини	Брезентовий костюм з вогнезахисним просочуванням (ТУ 17-08-237-85)

В Інституті електрозварювання ім. С. О. Патока на основі вивчення умов праці зварників при співробітництві з іншими НДІ та організаціями розроблено й впроваджено спецодяг 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 дію на організм зварників і різальників шкідливих виділень та аерозолей, застосовувати місцеву й загальнообмінну вентиляцію; організувати подачу в зону дихання чистого повітря, а також зменшувати кількість шкідливих матеріалів і процесів (наприклад, використовувати електроди з покриттям рутилового типу, зварювати штучними електродами заміниги на зварювання у вуглекислості газі або порошковим дрогою і т. п.);

2. Уловлювати шкідливі для організму людини речовини, що входять до складу зварювальних аерозолей, за допомогою фільтровентиляційних агрегатів (ФВА). При цьому спеціальні повітряно-приймальні пристрої (сопла) встановлюються на віддалі 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 м²

повітря за 1 год. У випадку бокового відсмоктування, що часто почастіається конфігурацією зварної конструкції, для ефективного вловлювання такої кількості повітря недостатньо. Тому сопола слід максимально наблизити до зварної дуги, що не завжди можливо. Для підвищення ефективності вловлювання зварювальних аерозолей розроблено оригінальну конструкцію пристрою з активною вихровою насадкою для відомчого ФВА «Шмель-1500», продуктивність видалення повітря становить 1500–300 м³/год, радіус обслуговування не більше 3 м;

3. Для видалення аерозолей всередині замкнутих емкостей і в важкодоступних місцях застосовують переносний витяжний пристрій «Лань», який забезпечує об'єм видалення повітря до 1200 м³/год;

4. У зварювальному виробництві широко використовуються підйомно-поворотні витяжні пристрої «Ліана», «Грума», «Спрут». 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 (втяжний шифр, похідне пильово-циркульне відсмоктування та столи з нижнім підрешітчастим відсмоктуванням).

В Україні до 80% виявлених випадків захворювань зварників викликані дією зварювальних аерозолей на органи дихання. Пріоритетним напрямком програми захисту зварників від дії різних виробничих факторів є захист органів дихання. Заходи безпеки при дії на організм робітника шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні вказані в таблиці 24.4.

За даними японського Інженерного товариства, яке всередині 80-х років XX ст. майже 85 виробничих компаній різних галузей промисловості вимагали від зварників застосування захисних масок і респіраторів.

Усім вимогам, які ставляться до респіраторів, відповідає респіратор «Сніжок», розроблений і виготовлений Фізико-хімічним 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 протигазових фільтрів забезпечуються вловлювання фтористого водню, фторидів кременію, інших кислотних газів, розкладання озону, окиснення CO₂, 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	Ознаки отруєння	Заходи профілактики
<i>Оксиди марганцю</i>		
Зварювання і різання марганцевих сталей, зварювання електроддами з руднокислим покриттям ЦМ-7, ОММ-5	1-а стадія – головний біль, слабкість, сонливість, голопокружжіння, біль в кишківнику; 2-а і 3-я стадія – хронічний стан, поява везикулозних форм органічного ураження центральної нервової системи	Ефективна вентиляція робочого простору. Застосування електродів із рутиловими покриттями (АПО-4, МР-3 та ін.)
<i>Фтористі сполуки</i>		
Зварювання під флюсом ОСІ-45	Солодкий присмак у роті, голопокружжіння	Застосування флюсів АН-348А, ФІ-9. Посилення вентиляції робочого простору
Зварювання електроддами з фтористокальцієвим покриттям	Після закінчення роботи озноб, підвищення температури, іноді нудота, блювота	
<i>Оксиди вуглецю</i>		
Зварювання у вуглекислому газі в замкнутих просторах	Підвищена нітміліаність, головний біль, нудота, блювота, втрата свідомості	Посилення вентиляції робочого простору. Підведення чистого повітря в зону дихання зварника
<i>Оксид цинку</i>		
Зварювання і різання мідноцинкових сплавів і оцинкованих сталей	Ливарна лихоманка – солодкуватий присмак у роті, нудота, спрага, підвищення втомлюваності, сухий кашель. Пригугти лихоманка – озноб, підвищення температури, нудота, блювота	Присаджування металу у вигляді дроту АК-62-05. Посилення вентиляції, застосування респіраторів. Зварювання оцинкованої сталі рутиловими електроддами або у вакуумному газі
<i>Оксид свинцю</i>		
Зварювання (паяння) свинцю, зварювання і різання металу, покритого свинцевими фарбами	Металевий присмак у роті, втрата апетиту й сил. Поява свинцевої (лілово-сірої) облямівки навколо ясен після 2,5–3,5 міс. безперервної роботи. При тяжкій формі – колики, сильний головний біль	Посилення вентиляції, видалення фарби із зони нагріву. Дотримання чистоти шкіри, одягу. Приймання їжі у спеціально обладнаних місцях

24.5. ЗАПОБІГАННЯ МОЖЛИВИМ ВИБУХАМ

Незаперечне 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 закритими. 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 вийшов.
3. Необхідно старанно зберігати редуктори, клапани та вентилі балонів від забруднень.
4. Забороняється зварювання й термічне різання при ремонті ємкостей, посуду, які знаходяться під надлишковим внутрішнім тиском.
5. Ємкості, які використовувалися під горючі рідини, ремонтувати тільки після дво-трикратного промивання надлим розчином кальцієвої соди або тринагієфосфату, кип'ятінням або продуванням гарячою парою.
6. Ремонт ємкостей після зберігання авіаційного бензину або газу (навіть із залишками палива) допускається за умови створення в них вибухонебезпечного газового середовища шляхом заповнення ємкості вуглекислим газом, азотом або впрямом 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 з червоних та бокоревих застібок, а прати носити тільки навишук. Куплені куртки слід закривати клапанами, а кінці рукавів зав'язувати стрічками. Подову накривають головним убором або фібролітровою каскою.
2. Слідкувати за станом спецодягу, враховуючи, що порямами його видачі електрозварника передбачаються терміни носіння.
3. Дотримуватися обережності при роботі з нагрітим металом, шлаком, огарками електродів. При збиранні шлакової кірки (при зварюванні під флюсом) захищати очі окулярами з простим склом.
4. Не допускати перегріву електрододержачів і пальників для напівавтоматичного зварювання, а також іншого зварювального інструменту, який знаходиться під струмом.
5. При стельовому зварюванні користуватися азбестовими та рукавниками і щільно їх зав'язувати.

6. При гарячому зварюванні чашуви 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 шлаку постійно слідкувати за рівнем ванни і станом системи охолодної води.

8. Під час зварювання категорично забороняється знаходитися під подушом, нахальною або формою.

24.7. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РОБІТ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ НА БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ ПЛОЩАДКАХ

1. Зварювальникам (різальникам) необхідно виконувати роботи в фібролітових касках і при необхідності використовувати брезентові наплічники для захисту шиї й плечей.

2. Для перенесення інструмента, електродів та інших зварювальних матеріалів, а також для осарків використовувати спеціальні інструментальні ящики або циліндричні пенали з виступом матеріалу. Не допускати розкидання електродних осарків.

3. На висоті працювати із за необхідним поясом, прикріплюватися ним до нерухомих і міцних конструкцій.

4. Виконувати роботи по зварюванню і різанню на висоті з ринтування, підмосток і колісок тільки після перевірки цих пристроїв майстром або виконувачем робіт. Ринтування й підмости шириною не менше 1 м повинні бути суцільними, з міцними та стійкими загороженнями. Як виключення допускаються короткочасні роботи з приставних драбин, з упором у вигляді металевих виступів, гумових наконечників та інших тормозних пристроїв. Верхні кінці драбин закріплювати до інших нерухомих конструкцій, а також передбачити заходи проти випадкового зсуву драбини.

5. При проведенні робіт у декілька ярусів необхідно передбачити накріття або настили для захисту робітників, які працюють нижче, від іскор і крапель розплавленого металу й шлаку, а також від падіння інструмента та інших предметів.

6. Під час дощу роботи на відкритому повітрі необхідно вести тільки при наявності відповідних захисних пристроїв (павісі, лашки).

7. При ожеледці, вітрі понад шість балів 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. Вануку зварників і різальників повинні мати можливість обігріти. При температурі від -20 до -25°C зварник має право обігріватися протягом 10 хв через кожну годину роботи.

24.8. ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ

1. Про проведення робіт із зварювання і різання на будівельній площадці необхідно завчасно повідомити осіб, які відповідають за пожежну безпеку.

2. Робочі місця зварників (різальників) слід очистити від дерев'яних стружок, пилі, торцюого сміття в радіусі не менше 10 м, а також видалити із цієї зони інші вибухо- та вогонисезбежні речовини.

3. Обережно переміщувати зварювальні проводи. При цьому особливо небезпечним є іскріння проводів (при недостатній або порушеній ізоляції) у місцях, віддалених від зварника, або недоступних для спосередження.

4. Заборонено робітникам переміщуватися із западеним пальником 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 травмі або концентрованої дії іскор і крапель розплавленого металу, що утворюються при зварюванні й різанні, деревині настий та підмостки необхідно захищати від загорання листовим залізом, азбестом, а в спеку поливати водою.

7. Після закінчення зміни уважно обстежують робочу зону на наявність відкритого вогню, нагрітих до високої температури предметів, а також тліючих і тліючих 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, направлених на забезпечення здоров'я і безпечних умов праці.

Відповідальність за організацію та стан охорони праці й техніки безпеки покладено на адміністративно-технічний персонал виробничих підрозділів підприємств, які виконують 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.

Зи 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 вказаної перевірки записують в журналі встановленої форми.

Повторний інструктаж проводить адміністрація щоквартально і перед кожного 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, безкоштовно видаються спеодия, спецвзуття та запобіжні пристрої.

6. До зварювання і різання на висоті допускаються робітники, які пройшли додатковий медогляд і мають посвідчення про вивчення спеціальних методів верхозазисних 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 вміло виконувати існуючі вимоги щодо безпечного виконання робіт, а також дотримування 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 при вводить для зварювального аерозолі?
4. Назвіть основні заходи забезпечення електробезпеки.
5. Вкажіть послідовність дій при ураженні електричним струмом.
6. За табл. 24.2. виберіть світлофільтр для зварювання чавуну при струмі зварювання 300 А, та для зварювання вольфрамовими електродом сталі при струмі зварювання 350 А.
7. Що використовують для зменшення дії на організм зварників шкідливих видалень і аерозолей?
8. Для чого застосовують респіратори?
9. Вкажіть способи запобігання вибухам.
10. Охарактеризуйте заходи профілактики теплових опіків зварників.
11. Назвіть основні правила безпечного ведення зварювальних робіт на будівельно-монтажних підприємствах.
12. Назвіть основні протипожежні заходи при зварюванні.
13. На кого покладається і відповідальність за охорону праці на підприємстві?
14. Хто допускається до виконання зварювальних робіт?

Додаток 1

Кольори мінливості при нагріванні сталі

Температура, °С	Колір свічення при нагріванні
1300	Сліпучо-білий
1200	Яскраво-жовтий
1100	Світло-оранжевий
1000	Оранжевий
900	Черволий
850	Яскраво-черволий
800	Висхідно-черволий
700	Темно-вишніво-черволий
600	Темно-черволий (початок свічення)

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 різні світлові лінії, проволучені краплеподібні іскри
Середньовуглецева сталь (0,5% С)	Світло-жовті світлові полюси, розгалужені з рідким утворенням м'ялих зрізочок
Вуглецева інструментальна сталь (0,9% С)	Світло-жовті іскри з чисельними променістими зрізочками
Тверда вуглецева інструментальна сталь (1,2% С)	Яскраві пучки іскор складаються з ясно-жовтих часто розгалужуваних зрізочок
Марганцева сталь (10-14% Mn)	Біло-жовті яскраві пучки променів, сильно розгалужені перпендикулярно до ліній іскор
Швидкокорозійна сталь (10% W, 4% Cr, 1% C)	Темно-червоної нерівної лінії іскор, розгалужені на більш яскраві зрізочки

Множники і приставки для утворення похідних одиниць СІ

Множник	Приставка	Позначення	
		російське	міжнародне
10^{12}	тетра	Т	T
10^9	гіга	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кіло	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санті	с	c
10^{-3}	мілі	м	m
10^{-6}	мікро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	N
10^{-12}	піко	п	p

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Тиск, напруження, границя міцності	паскаль	Па	1 Па = 1 Н/м ² ; 1 кгс/см ² = 9,807 МПа; 1 кгс/см ² = 98,07 КПа = 0,09807 МПа = 105 Па = 1 бар; 1 мм.вод.ст. = 1 кгс/м ² = 9,807 Па; 1 мм.рт.ст. = 133,3 Па
Сила струму	ампер	А	
Напруження	вольт	В	
Частота	герц	Гц	
Опір	ом	Ом	

Фізичні властивості неметалів

Одиниці вимірювання та перевідні коефіцієнти

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Температура	кельвін	К	T°C = TK - 273,15
Маса	грам	г	1 фунт = 409,5 г; 1 т = 1000 кг
Довжина	метр	м	1 А° = 10 ¹⁰ м = 0,1 нм (Анґстрем); 1 дюйм = 25,4 мм; 1 фут = 30,48 см
Об'єм, місткість	кубічний метр	м ³	1 л = 1 дм ³
Час	секунда	с	1 хв = 60 с; 1 год = 3 600 с; 1 доба = 86 400 с
Сила	ньютон	Н	1 кгс = 9,807 Н
Ударна в'язкість	-	Дж/см ²	1 Дж/см ² = 0,9807 кгс-м/см ²
Робота, енергія, кількість теплоти	джоуль	Дж	1 Дж = 1 Нм; 1 кгс-м = 9,807 Дж; 1 кал = 4,185 Дж
Потужність	ват	Вт	1 Вт = 1 Дж/с; 1 к.с. = 735,5 Вт

Неметали	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С	Густина, г/см ³	Умовні позначення в марках металів і сплавів	
				чорних	кольорових
Н азот	-210	-195,5	1,0	А	
В бор	2075	3860	3,33	Р	
Вг бром	-7,3	59	3,12		
Н водень	-259,4	-252,8	-		
С вуглець	3500	-	3,51 (алмаз)	У	
І йод	137	183	4,93		
О кисень	-218,8	-189	1,12		
Сі крмний	1415	2600	2,4	С	Кр(К)
Se селен	170	688	4,6		
S сірка	112,8	444,5	1,96		
Te телур	453	1012	6,25		
Р 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	Умовні позначення в марках металів і сплавів чорних				Температура, °С		Густина, г/см ³	Темло-провідність, Вт/мК	Темлоємність, Дж/кг	Питома електричність опр., мКОМ·м	Температурний коефіцієнт		Твердість, НВ-107 Па	Границя міцності, δ-107 Па
		кілько-рочних	плав-лення	кількі-ня	°С	електро-опору, 10 ⁻³ /К	лінійного розширен-ня, 10 ⁻⁶ /К								
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	-	Зл	1063	2860	19,3	315,5	130	0,0220	4,0	14,1	25	14		
Барій	Ba	-	-	729	2130	3,5	-	285	0,60	-	18	-	-		
Ваній	V	Л	В	1287	2470	1,85	194	2052	0,033	9,0	12	-	-		
Висмут	Ві	-	-	271	1564	9,80	9	124,8	11,7	4,6	13,4	9,4	1,7		
Кальцій	Са	-	-	839	1484	1,54	125	624	0,037	4,57	22	-	-		
Церій	Се	-	-	798	3430	6,75	11,9	188	0,854	8,7	8	-	-		
Кадмій	Сд	Ка	Ка	321	767	8,64	103	233,2	0,073	4,3	31	20	6,8		
Кобальт	Со	К	К	1492	2930	8,9	96	427	0,0634	6,6	12,5	-	-		
Хром	Сг	Х	Х	1860	2680	7,1	91,3	461	0,132	2,14	6,5	112	41		
Цезій	Сs	-	-	28,5	670	1,87	36,1	294	0,20	2,94	4,8	97	-		
Мідь	Сu	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

Елемент	Символ	Умовні позначення в марках металів і сплавів чорних				Температура, °С		Густина, г/см ³	Темло-провідність, Вт/мК	Темлоємність, Дж/кг	Питома електричність опр., мКОМ·м	Температурний коефіцієнт		Твердість, НВ-107 Па	Границя міцності, δ-107 Па
		кілько-рочних	плав-лення	кількі-ня	°С	електро-опору, 10 ⁻³ /К	лінійного розширен-ня, 10 ⁻⁶ /К								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Талій	Ta	-	-	29,7	2205	5,91	41,0	377	-	-	18,3	2,5	3,5		
Терманій	Te	-	-	937	2830	5,32	5,64	310	-890	-	5,75	-	-		
Танталій	Ta	-	-	2227	4600	13,1	22,9	147	0,322	4,4	6,0	146	42		
Ртуть	Hg	-	-	-38,87	357	13,55	8,65	138	0,859	1,0	61	-	-		
Індій	In	-	-	156,4	2070	7,3	80,0	243	0,088	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		
Кадій	K	-	-	63,2	759	0,86	104	754	0,068	5,7	83	-	-		
Літій	Li	-	-	181	1342	0,534	76,1	3517	0,0929	4,35	56	-	-		
Магній	Mg	Ш	Мг	649	1090	1,74	155,5	1038	0,042	4,25	26,0	30	12		
Марганець	Mn	Г	Мш	1244	2060	7,4	7,8	486	16,0(а)	-	23	-	-		
Молибден	Mo	М	М	2615	4610	10,2	137	251	0,037	4,33	5,1	181	98		
Натрій	Na	-	-	97,8	883	0,97	128	1227	0,047	5,5	71	-	-		
Ніобій	Nb	Б	Нб	2467	4740	8,6	54,1	268	0,160	2,6	7,2	73,5	34		
Нікель	Ni	Н	Н	1455	2915	8,9	88,5	452	0,069	6,8	13,3	90	38		
Осній	Os	-	-	3030	5000	22,5	87,5	130	0,088	4,1	4,57	350	-		
Свинцев	Pb	-	С	327,4	1750	11,68	34,9	129,8	0,206	4,2	29,0	5	1,4		
Палладій	Pd	-	-	1552	2960	12,0	75,5	247	0,108	4,2	11,0	40	14		
Платина	Pt	Пл	Пл	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	58,3	386	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			1966	3700	12,4	149	243	0,047	4,4	8,5	136	55
Рутеній	Ru			2310	4120	12,2	116,3	234	0,077	4,1	9,0	216	50
Сурьма	Sb		Су	630,5	1590	6,68	23,8	209	0,401	5,1	8-11	-	-
Кремній	Si		Кр	1412	3270	2,34	138,5	729	10-10000	-	7,6	-	-
Олово	Sn		О	2319	2625	7,3	73,2	226	0,126	4,6	23,5	5,1	2,75
Стронцій	Sr			770	1375	2,6		737	0,23	-	100	-	-
Тантал	Ta		Тт	2980	5370	16,6	57,55	142	0,135	3,5	6,5	123	39
Торий	Th			1755	3200	11,5	49,2	100	0,14	4,0	11,2	-	-
Титан	Ti		Тн	1667	3285	4,5	21,0	528	0,54	3,8	8,9	207	45
Талій	Tl			404	1473	11,85	45,5	130	0,166	5,2	30	2,6	1,2
Ванадій	V		Вам	1902	3410	6,1	31,0	498	0,190	3,9	8,3	63	22
Цинк	Zn		Ц	419,5	911	7,14	119,5	394	0,0596	4,2	31	40	14
Вольфрам	W		В	3400	5555	19,3	174	138	0,054	4,8	4,5	250	147
Цирконій	Zr			1852	4400	6,49	22,6	289	0,44	4,4	3,9	67	22

Додаток 7
Орієнтовні співвідношення значень твердості, визначеної різними методами

HV	HB	HRC	HRB	HRA	HV	HB	HRC	HRB	HRA
1234	-	72	-	84	228	229	20	110	61
1116	-	70	-	83	222	223	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	89	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	415	43	-	72	155	156	-	84	-
423	401	42	-	71	152	152	-	83	-
401	388	41	-	71	149	149	-	82	-
390	375	40	-	70	148	146	-	81	-
386	363	39	-	70	143	143	-	80	-
361	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	116	-	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_y	Зовнішній діаметр, D_z	Легкі		Звичайні		Підсилені	
		товщина стінки	маса 1 м	товщина стінки	маса 1 м	товщина стінки	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	0,98
15	21,3	2,35	1,10	—	—	—	—
15	21,3	2,35	1,16	2,8	1,28	3,2	1,43
20	26,6	2,35	1,42	—	—	—	—
20	26,6	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

Арматурна сталь. Номери профілю, площі поперечного перерізу, маса 1 м довжини арматурної сталі

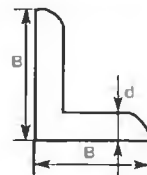
Номер профілю (номінальний номер стрижня d_s)	Площа поперечного перерізу стрижня, cm^2	Маса 1 м профілю, кг
6	0,283	0,222
8	0,503	0,395
10	0,785	0,617
12	1,131	0,888
14	1,540	1,210
16	2,010	1,580
18	2,540	2,000
20	3,140	2,470
22	3,800	2,980
25	4,910	3,850
28	6,160	4,830

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

Довжина профілів кутової сталі

Номер профілю		Довжина, м	
рівнобічна	нерівнобічна	від	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

**Кутова рівнобічна прокатна сталь
(ГОСТ 8509-72)**

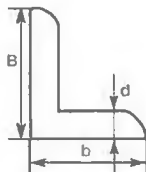


Номер профілю	Ширина, B , мм	Товщина d , мм	Площа профілю, cm^2	Маса 1 пог. м, кг
2	20	3,4	1,13,1,46	0,89;1,15
2,5	25	3,4	1,43;1,86	1,12;1,46
3,6	36	3,4	2,10;2,75	1,63;2,16

Номер профілю	Ширина, В, мм	Товщина d, мм	Площа профілю, см ²	Маса 1 погон. м, кг
4	40	3,4	2,35;3,08	1,85;2,42
4,5	45	3,4;5	2,65-4,29	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 погон. 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 погон. 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, ..., 105, 110, 120, 130, ..., 190, 200;
- маса 1 м відповідно, кг: 0,222; 0,395; ..., 246, 26.

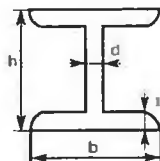
Гарячекатана квадратна (ГОСТ 2591-71):

- 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 шестигранна (ГОСТ 2879-69):

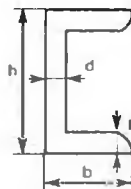
- діаметри вписаного кола, мм: 8, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 22, 24, 27, 30, 32, 34, 36, 40, 45, 50, 53, 60, 65, ..., 100;
- маса 1 м відповідно, кг: 0,435, 0,680, ..., 67,98.

Двограврові 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	28,9	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

Шаслери (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	15,0
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

Ширина 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

Додаток 17

Тетраборат натрію $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — сіль тетраборної кислоти $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 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 вивітрюються і мутніють; середньорозчинна у воді. Буру одержують із борної кислоти, з мінералів тинкалі, керніту та з води соляних озер. З оксидами різних металів бура утворює забарвлені сполуки — борати («серли бурні»), 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, різанні 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 газом. 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, скловиробництві, хімічній промисловості. З пемзи виготовляють фільтри, сушильні апарати. Їх використовують як основу для каталізаторів, як добавки до цементів, у якості наповнювачів тощо.

Стеарин

Стеарин (від грец. — жир, сало) — органічний продукт, який одержують із жирів. Складається зі стеаринової кислоти з домішками пальмітової, олеїнової та інших кислот. Стеарин — тверда, біліснорозара маса, жирна на дотик, температура плавлення — 70°C .

Хімічні сполуки, які використовуються у зварювальних матеріалах:

цементит	— Fe_3C (карбід заліза);
окисина	— Fe_2O_3 (оксид заліза);
кремнезем	— SiO_2 (оксид кремнію);
плавиковий шпат	— CaF_2 (фтористий кальцій);
силікат марганцю	— $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$;
силікат заліза	— $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Закордонні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей

Додаток 18

Сталі конструкційні легировані

Україна, Росія	Німеччина		Франція	Велика Британія	Японія	США
ГОСТ	Шифр	DIN	AFNOR	B. S.	JIS	ASIS/SAE/ASTM
15X	1.7015	15CK8	12C3.15(2).18C3	523 M 15	SC415 (H)	50.15.5115
30X	1.7030	28CK4	—	530 A 30	—	5130
35X	1.7033	34CK4	22C4; 34Cr4	530A32.530H32; 530 M 32	SsC430 (H)	5132
40X	1.7035	41CK4	41Cr4; 42Cr4	530A40.530H40; 530 M 40	SsC430 (H)	5140
40X	1.7045	42CK4	42Cr4TS	530A40	SCr440	5140
18XГ	1.7131	16MnCR5	16MnCr5	527M17590H17590M17	—	5115
18XГ	1.7147	20MnCr5	20MnCr5	—	SMnCr2011	5120
30Г	1.1170	28Mn6	20Mn5; 28Mn6	(150M28); (150M19)	—	1330
35Г2	1.1167	36Mn5	35M5	150M36	SMn438 (H)	1335
39ГГ	—	—	40M5	—	SCMN 3	—
40Г	1.1157	40Mn4	35M5; 40M5	150M36	—	1035.1041
50XГA	1.7176	55Cr3	55Cr3; 45Cr2	525A58; 525A60; 525H60	SUP 9(A)	5155.5160
50XГDА	1.8159	51CrV4	51CrV4;	735A51	SUP10	6245
50XГDА	—	50CrV4	51CrV4;	735H51	—	—
—	—	—	50CrV4	535M50	—	6150
AC38XМ	1.7220	34CrMo4	34CrMo4	708A37	SCM432	4135.4137
35XМ	—	—	—	35CD4	SCCrM3	—
35XМГ	—	—	—	—	SCM435H	—

40XФA	1.7228	41CrMo4	42CrD1TS	708M40 3111-5/1	SNCM240	4140.4142
20XГГМ	1.6523	21NiCrMo2	20NC D2	805H20 805M20;	SNCM240	8620
—	—	—	22NC D2	806M20	—	—
38XГМН	1.6546	40NiCrMo2-2	40NC D2	3111-Type	SNCM447	8740
38X2H2MA	1.6582	34CrNiMo6	34CrNiMo68	816M40	SNCM439	4337.4340
—	—	—	35NC D8	817M40	—	—
40XН2МА	1.6565	40NiCrMo6	—	817A.37.818M40	SNCM439	4340.9850
40XH	1.5711	40NiCr6	—	—	—	(X) 3140
40XН2МА	1.6511	36CrNiMo4	36CrNiMo4	817M37	—	4340
40XГМ	—	—	40NC D3	—	—	9840
38X2M10A	1.8509	41CrNiMo7	40CAD6.12	905M39	SACM615	A.3551A1E71400G71400
16Г2AФ	1.8902	S420N(S1E 420)	FeE420KGN	—	SM490	A 633Cr-E
—	—	—	E420R1FP	—	A.Б.С.У.А.У.В	—
18ГAФ	1.8905	P460N(S1E460)	FeE460KGN	4360-55F	SM520 B	A 633Cr-E
—	—	—	E460R1FP	—	—	—

Закордонні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей

Додаток 19

Сталі конструкційні легіювані заміною якості

Україна, Росія	Німеччина	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AFNOR	B. S.	UNI	AISI/SAE/ASTM
Ст0	S165 (Fe 310-0), St33	A 33	Fe 310-0, 1449 15 HR,HS	Fe320	A 283 Gr. A
Ст2сп, Ст2сп	S250G2T/RS63+2	A 34-2NE	1449 34/20 HR, HS,CR,CS	Fe 330 B FN	—
16Л, 18кп, Ст3кп	S235JRG1 (Fe 360 B), USt 37-2	—	Fe 360B, 4360-40 B	Fe 360 B FU	A 283 Gr.C, A 570Gr-33,36
Ст3сп, Ст3сп	S235JRG2 (Fe 360 B), USt 37-2	E24-2NE	Fe 360 B FN, 1449 27 /23 CR, 430-438, 6323, FEW 3, HFS 3	Fe 360 B FN	A 570 Gr.96
Ст3кп, Ст3сп, Ст3сп, 16Л	S235J2RG3 (Fe 360 D 1), USt 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	A 284Gr. D, A 578 Gr.58, A 570 Gr.36, C, A 611 Gr. C
Ст4сп, Ст4сп	S275JR (Fe 430 B), S44-2	E28-2	Fe 430 B FN, 1449 43/25 HR, HS,4360-43 B, 6323-HFW 4, HFS 4, ERW 3, CEW 4, SAW 4	Fe 430 B, Fe 430 B FN	1020, A 570 Gr. 40, A 572 Gr.42

492

Ст4кп Ст6сп Ст4сп	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 672 Gr.42
Ст6сп	E295 (Fe 490-2) 9600-2	A 50-2	Fe 490-2 FN	Fe490	A 670 Gr. 30
Ст6сп	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
Ст6сп					

Сталі конструкційні ниськолеговані для зварних конструкцій

14T2	P295GH, 17 Mn 4	A 48 Sp. Ap	1501 Gr.224, 3059-440	Fe 510-1 KG, KT KW, Fe 510-2KG, KT KW, Fe E 295	A 516Gr.70, A 516Gr.70, A 114Gr. F.C
15ГФ	P355N, StE355	FeE355 KG.N, E 355 R/FP, A 510AP	1501 Gr. 255-400 A L T 20	Fe E 355 KG; KW	A 633 Gr. C, A 588
17ГС	S355J2C3	P96-3	Fe 510 D1 FF, 1449 50/25 HR, HS, 4360-50 D, 6323-ERW 3, CEW 3; SAW 3	Fe 510 C FN, Fe 510 B,C,D Fe 510 B FN	1024; 1524 A 572 Gr.50
17ГГС	St52-3N	E36-4			

493

Сталі конструкційні ресорно-пружинні

Україна, Росія	Німеччина	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AFNOR	B. S.	UNI	AISI/SAE/ASTM
35С2	55Si7	55 Si 7, 56 Si 7, 55 Si 7, 56 SC 7	251 A, 58	55Si7	9255
60С2	60Si7	60Si7, 60S7	251 A, 60, 251 H, 60	60Si7	9260
60 (Г)	С60	С 60, 1 С 60, AF 70 C 35	060A6, 2, 5770-60, 1449,60 H.S., C, S	С 60, 1 С 60	1060
60 60 Г 60ГА	С 60Е, Сk60	С60 2 С 60 XC60H1, XC60	060 А 62	С 60	1060,106А
65ГА, 68 ГА, 70	С 67Е/Сk67	С 68, ХС 68	060 А 67	С 70	1070
75	С75	С75	1449 80 HS	С 75	1074, 1075
75(А)	С75Е/Сk75	С75 ХС 75	060 А 78, 8570-80	С 75	1074, 1075, 1078
85	С85D (D82-2)	ХС80	1449 80 H.S., C.S	—	1086
85(А)	С85Е/Сk85	С 90, ХС90	—	С 90	1086

Сталі конструкційні легвістії

12ХМ	13CrMo4-5	15 CD 3,5	1502 620-440, 1503-620-440,	14CrMo 3	A182-F11; F12
15ХМ	15CrMo4-4	15 CD4 05	1502 620-470, 3606-620	16CrMo 3	A 387 Gr.12 C1.2
15ХМ	16CrMo4-4	15 CD 4,5	1402 620-540, 0604-620-440	18CrMo4 5 KW,KG	A 387 Gr.12 C1.2
20ХМ 30ХМ	25CrMo4	25 CD 4 25CrMo 4	708 А 25	25 CrMo 4 (КВ)	4130

Сталі конструкційні підшипникові

ШХ10 40Х	37Cr4	37Cr4 38Cr4	31111-3/1, 530A36 530H36 530M36	38CrMn4 38CrMn5 38Cr4KB 38CrMn4KB	5135
ШХ15	100Cr6	100Cr6,100Cr6	25135,555A99	100Cr6	52100

Сталі для відвалок

20ГСП	20Mn5	20 M5	120M19	G22Mn3, 20Mn7	1022, 1518
27ХГСПМТЛТ	30Mn5	35M1	120 M 36	—	1036
30ГСП	Х 120 Mn 12	7120M12	(150 M 28)	—	1330
110Т13Т	—	—	—	GX 120 M 12	A128(А)

Сталі корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні, зносостійкі

Україна, Росія ГОСТ	Німеччина DIN	Франція AFNOR	Велика Британія B. S.	Італія UNI	США ASTM/AISI
12X8	10 Cr Mo 9-10	12 CD 9-10 10CD9-10	3059 622-630, 3606-622, 1502-622, 3604-622	12CrMo9 10CrMo910 KG.G14CrMo910	A182 F22 A387 Gr.22 C1.2
20X13 H 4T9	X12CrMnNi 18 85	—	284S16	—	201
12X18H11	X12CrNi18 8	Z10CN18-08	302S24	X10CrNi1809	302
08X18H10	X5CrNi 18 10	Z6CN18-09	304S15	X5CrNi1810	304
20X23H13	—	Z15CN24-13	309S24	X16CrNi2314	309
20X23H18	—	Z12CN25-20	310S24	X6CrNi2520	310
12X18H19T	X6CrNiTi18 10	Z6CNT18-12	321S31	X6CrNiTi1811	321
08X18H12S	X6CrNiNb18 10	Z6CNNb18-11	347S31	X8CrNiNb1811	347
12X13	X10Cr13	Z12C13	410S21	X12Cr13	410
20X13	X20Cr13	Z20C13	420S45	X30Cr13	420
12X17	X6Cr17	Z8C17	430S17	X8Cr17	430
20X17H2	X20CrNi17 2	Z15CN16-02	441S29	X16CrNi16	431

Сталі конструкційні легировані якісні

08кп	DD13,StW24	3C	1449 1 HR	FeP 13	A622(1008)
08Ю, ЮА	DC04,S4,S14	ES	1449 1 CR,2CR	FeP 04	A620(1008)
08Ю	DC03,RRS13,RRSt13	E	1449 3 CR, 1449 2 CR	FeP 02	A619
08-10	C10E/Ck10	C10,XC 10	040 A10	C10,2C10,2C15	1010
10	C10	C10,AF34, C10,XC10	040A10,045M10,1449 10CS	C10, 1C10	1010
10кп	UstW23(DD12G1)	2C	—	FeP 12	A621(1008)
15кп	DD11,StW22	1C	1449 4HR, 14HR	FeP 11	A621(1008)
15	C15E/Ck15	XC12,XC15,C18,XC18	040A15,080M15	C15,C16	1015
16K	P265GH	A42CP, AP	1501Gr.161-400, 151-400	Fe410 1 KW,KG,KT	—
20K	H111	—	1501Gr.164-360, 161-400	Fe410 2KW,KG	—
20	C22	AF42C20, XC25,1C22	055M15,070M20, 1449 22 HS,CS	C20,C21,C25	(M)1020 M1023
20	C22E,Ck22	2C22,XC18,XC26	055M15,(070M20)	C20,C25	1020, 1023
25	C25E,Ck25	2C25,XC25	(070M26)	C25	1025
35	C35	C35,1C35,AF45, C35,XC38	080A35,080M36, 080M36,1419 40CS	C35, 1 C35	1035

Україна, Росія ГОСТ	Німеччина DIN	Франція AFNOR	Велика Британія B. S.	Італія UNI	США AISI/SAE/ASTM
35	C35E, Ck35	C35, 2C35, XC32, XC38H11	080A35, (080M36)	C35	1035, 1038
40	C40E, Ck40	2C40, XC42H1	060A40, 080A40, 080M40	C40	1045
45	C45	C45, 1C45, AF45C45	060A47, 080M46, 1449 50H5, C5	C45, 1C45	1045
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	C55, 1C55, AF70C55	070M55, 5770-50	C55, 1C55	1055
55	C55E, Ck55	2C55, XC53H1, XC54	060A57, 070M55	C55	1055

Список літератури

1. Александров О. Г., Зяруба І. І., Питьковський І. В. Будова та експлуатація устаткування для зварювання шпалеліній. — К.: Техніка, 1998.
2. Биковський О. Г., Питьковський І. В. Довідник зварника. — К.: Техніка, 2002. — 335 с.
3. Блинов 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. Каховский Н. И., Итальянский Ю. Н., Патон В. Е., Грущенко А. А. Технологии механизированной дуговой и электронно-лучевой сварки. — М.: Высшая школа, 1972. — 367 с.
6. Китаев А. М., Китаев Я. А. Справочная книга сварщика. — М.: Машиностроение, 1985.
7. Козаков Ю. В. Сварка и резка материалов. — М.: АCADEMIA, 2002.
8. Коновалов Дмитро. Російсько-український технічний словник. — Луцьк: Візор, 1993.
9. Куркин С. А., Ховов В. М., Рыбачук А. М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. — М.: Атлас «Машиностроение», 1989. — 362 с.
10. Мадьяев Б. Д., Ахулов А. И., Алексеев Е. К. и др. Сварка и резка в промышленном строительстве. — М.: Стройиздат, 1977. — 779 с.
11. Рыбаков В. М. Дуговая и газовая сварка. — М.: Высшая школа, 1981.
12. Русско-украинский словарь сварочной терминологии. Бернадский В. П., Осика О. С., Симоненко Л. А., Филоненко Л. С. — К.: Экотехнология, 2001. — 223 с.
13. Сварщик. — Экотехнология. — 1999–2003. — №№ 1–6.
14. Стеклов О. Г. Основы зварювального виробництва. — К.: Вища школа, 1990.
15. Степанов В. В. Справочник сварщика. — М.: Машиностроение, 1982.

16. *Хачипетов М. В.* Сварка и резка металлов. — М.: Стройиздат, 1987.
17. *Хромченко Ф. А.* Справочное пособие электросварщика. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
18. *Шебеко Л. П.* Производственное обучение электрогазосварщиков. — М., 1984.
19. *Шебеко Л. П.* Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. — М.: Высшая школа, 1981.
20. *Шинкарев Б. М.* Электро- и газосварочные работы. — К.: Урожай, 1991.
21. Электроды для дуговой сварки, наплавки и резки. Каталог / Ю. А. Мазель, П. М. Маневич, Г. Н. Полищук и др. — М.: АО Спецэлектрод, 2000.

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 визначення	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. Характеристики зварювальної дуги	22
3.2.1. Вольт-амперна характеристика дуги	22
3.2.2. Зварювальні властивості дуги	23
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. Перенесення електродного металу через дугу 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 зони термічного впливу	31
Контрольні запитання та завдання	32
4.4. Вишкідження 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 умови позначення джерел живлення	38
Контрольні запитання та завдання	39
5.3. Характеристика джерел живлення і вплив до них	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 несплавленими 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. Дроги для зварювання сталей і чавунів	65
6.2.1. Сталевий зварювальний дріт	65
6.2.2. Самозахисний дріт	67
6.2.3. Дроги й прутки для зварювання та наплавлення чавуну	68
Контрольні запитання та завдання	68

6.3. Дріт для зварювання кольорових 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 прутки для зварювання нікелю, спінделю, цинку, титану 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. Грануловані пірошки для наплавлення	74
6.4.8. Лігні твердостійкі прутки для наплавлення	75
6.4.9. Чавунні прутки для наплавлення	75
Контрольні запитання та завдання	75
6.5. Порошковий дріт і стрічка	76
6.5.1. Порошкоподібні 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 окисних електродів	80
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. Захисна оболонка покритих зварювальних електродів	95
Контрольні запитання та завдання	95
6.13. Цеплавкі електроди	96
6.13.1. Підготовка вольфрамових електродів до зварювання	97
Контрольні запитання та завдання	97
6.14. Захисні гази та їх суміші	98
Контрольні запитання та завдання	101
6.15. Зварювальні флюси	101
Контрольні запитання та завдання	104
6.16. Екзотермічні матеріали для паяння, 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 і для зварювання	109
Контрольні запитання та завдання	114
7.2. Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80)	115
7.3. Режимы ручного дугового зварювання покритими електродами	119
Контрольні запитання та завдання	122
7.4. Вплив показників режимів зварювання на розміри та форму шва	123
Контрольні запитання та завдання	123
7.5. Замлювання дуги й техніка маніпулювання електродом	124
Контрольні запитання та завдання	126
7.6. Зварювання стикових 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 перерізом	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. Вибірочна 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 кромок та їх складання під зварювання. Шви зварних з'єднань	152
9.4. Способи регулювання електричної дуги	154
9.5. Класифікація обладнання для механізованого зварювання	154
9.6. Назова апаратура й прилади	156
9.7. Напівавтомати та автомати для зварювання в захисних газах	159
9.7.1. Характеристика зварювальних напівавтоматів	160
9.7.2. Пучок напрямки рукава для зварного дроту, пальники	162
9.7.3. Напівавтомати ПДГО 508 і ПДГО-510 для дугового зварювання	164
9.7.4. Автомати для зварювання	165

9.8. Режим зварювання плавним 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 вугільним і графітовим електродом	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. Види зварних з'єднань	190
10.3. Підготовка кромок 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. Автоматично 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. Напряга дуги	202
10.6.4. Рід і полярність струму	203
10.6.5. Швидкість зварювання	203
10.6.6. Швидкість подачі електродного дроту	205
10.6.7. Виліт електрода	205
10.6.8. Нахил електрода вздовж 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 кромок деталей	219
11.4. Апарати для електрошлакового зварювання	220

11.5. Матеріали та режими зварювання	222
11.5.1. Орієнтовані параметри ЕПІЗ	224
11.6. Техніка зварювання	225
11.6.1. Збудожені процеси зварювання	225
11.6.2. Одержання якісного шва	225
11.6.3. Вибір формуючих пристроїв	226
11.6.4. Рівномірне проварювання кромок	226
Контрольні запитання та завдання	230

Розділ 12

Особливості зварювання різних видів

12.1. Плазмове зварювання	231
12.2. Електроно-промислеве 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 (обертуюю 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. Ковальське (горнове) зварювання	245
12.15. Водяно-кисневе зварювання	247
12.16. Зварювання електроокиселками	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 (опиранням)	255
13.4. Зварювання спареним електродом, гребінкою електродів і трифазною дугою	257
13.4.1. Зварювання спареним електродом	257
13.4.2. Зварювання гребінкою електродів	257
13.4.3. Зварювання трифазною 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. Характеристики сталей	261
14.2. Зварюваність сталей	262
14.3. Вплив основних елементів на зварюваність сталей	264
14.4. Зварювання низьковуглецевих сталей	265
14.5. Зварювання середньовуглецевих сталей	269
14.6. Зварювання високовуглецевих сталей	270
14.7. Зварювання термозміненних сталей і сталей із захисними покриттями	270
14.8. Зварювання низьколегованих сталей	271
14.9. Зварювання легюваних теплостійких сталей	272
14.10. Зварювання середньолегованих сталей	273
14.11. Зварювання високолегованих сталей і сплавів	274
14.12. Зварювання різномірних і двошарових сталей	276
Контрольні запитання та завдання	278

Розділ 15

Зварювання чавунів

15.1. Характеристики 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 гравієм 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 аргонній плавильній електродом	309
16.4.4.	Автоматичне зварювання алюмінію плавильним електродом напіввідкритої 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 інертній газі плавильним електродом	315
16.5.4.	Автоматичне зварювання титану під флюсом	316
16.5.5.	Електрошлакове 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 магнієвих 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 різнородних металів

17.1.	Зварювання тугоплавких металів	329
17.2.	Зварювання різнородних металів	330
17.2.1.	Зварювання з розплавленням з'єднуваних поверхонь	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 різнородних металів через проміжні вставки	331
17.2.5.	Зварювання різнородних 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 газифікації	343
	Контрольні запитання та завдання	344

Розділ 19

Дугове наплавлення та наплення

19.1.	Загальні відомості про наплавлення	345
19.2.	Наплавковальні матеріали	345
19.3.	Особливості технології наплавлення металами різних типів	348
19.3.1.	Наплавлення недовговічних і низьколегіваних сталей	348
19.3.2.	Наплавлення теплостійких інструментальних сталей	349
19.3.3.	Наплавлення швидкокорозійних сталей	349
19.3.4.	Наплавлення вкорозійних сталей	349
19.3.5.	Наплавлення високолегірованих сталей	350
19.3.6.	Наплавлення хромонікелевих і хромонікелемарганцевих сталей	350
19.3.7.	Наплавлення високохромістких чавунів	351
19.3.8.	Наплавлення нікелевих сплавів	351
19.3.9.	Наплавлення кобальтових сплавів	352
19.3.10.	Аргондугове наплавлення прутками із сплаву сормайт	352
19.3.11.	Наплавлення срібла	353
19.4.	Техніка наплавлення	353
19.5.	Види наплавлення	354
19.6.	Ізотермічне наплення	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. Зварювальні напруги та деформації	369
20.7.	Валістості зварних конструкцій	371
20.7.1.	Неперервне виробництво зварних балок	373
20.7.2.	Елементи промислових будівель	376
20.8.	Решітчасті конструкції	377
20.8.1.	Ціли і банти	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 стіvek труб	402
20.14.3. Ручне дугове зварювання неспоротливих стіvek магістральних трубопроводів	402
20.14.4. Зварювання трубопроводів у захисних газах	405
20.15. Зварювання ємкостей 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 ісплавками електродами	413
21.4. Поняття-дуги в різанні	413
21.5. Киснево-дугове різання	415
21.6. Дугове різання під флюсом, аргондугове і різання сталевим диском	416
21.7. Плазмове дугове різання	416
21.7.1. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного 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 поглядом 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 вироб	435
22.7.4. Фізичні основи контролю	436
22.8. Пневматичні та пневматичні методи	436
22.9. Хімічний метод	439
22.10. Галодний метод	440
22.11. Контроль капілярним методом	440

22.12. Контроль магнітними методами	442
22.12.1. Магнітопороскопний метод	443
22.12.2. Магнітографічний метод	443
22.13. Контроль ультразвуковими методами	444
22.14. Контроль радіаційними 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. Металграфічні випробування зварних з'єднань	450
22.16.1. Макроаналіз	451
22.16.2. Мікроаналіз	452
22.16.3. Вивчення твердості	452
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 напівавтоматичного та автоматичного зварювання	459
23.4. Нормування наплавлювальних 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 електробезпек	464
24.3. Захист від світлової радіації	465
24.3.1. Спеціальний одяг для зварювання	467
24.4. Захист від шкідливих газових виділень, пилу та аерозолів	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
-------------------	-----

Початкове видання

ГУМЕНЮК Ігор Всеволодович
ІВАСЬКІВ Олена Федорівна
ГУМЕНЮК Ольга Василівна

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Підручник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *З. І. Івченко*

Художнє оформлення *В. С. Мітченка*

Технічний редактор *І. О. Селезньова*

Коректори *Л. П. Хітьченко, П. Ю. Комар*

Комп'ютерна верстка *Л. Г. Мигаль*

Підписано до друку 10.04.06

Формат 60×90/16. Папір офсетний № 1. Гарнітура Петербург.

Друк офсетний. Ум. друк. арк. 32,0. Обл.-вид. арк. 37,867.

Наклад 37 000 прим. Зам. № 6-412.

Видавництво «Грамота»

вул. Кловський узвіз, 8, м. Київ, 01021

тел./факс: (044) 253-98-04, тел.: 253-90-17, 253-92-64

E-mail: gramota@ukrpost.net

Свідчення про внесення до Державного реєстру України
суб'єктів видавничої справи ДК № 341 від 21.02.2001 р.

Віддруковано з готових діагностичних виданництва «Грамота»
у ВАТ «Харківська книжкова фабрика ім. М. В. Фрунзе»
вул. Донецько-Закарпатська, 6/8, м. Харків, 61057