

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



ПРОФЕСІЙНО-  
ТЕХНІЧНА  
ОСВІТА

# ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

ПІДРУЧНИК



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

УДК 621.791(075)

ББК 34.641я722

Г94

*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. Каплун*, канд. пед. наук, доцент

**Гуменюк І. В.**

Г94 Технологія електродугового зварювання: Підручник / І. В. Гуменюк, О. В. Іваськів, О. В. Гуменюк. — К.: Грамота, 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

© Грамота, 2006

## ПЕРЕДМОВА

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

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

Для підвищення якості продукції та продуктивності праці у зварювальне виробництво 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 корінні зміни в технології виготовлення кораблів, пресів, прокатних станів, котлів, нафтової апаратури, труб та інших зварних конструкцій.

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

Запровадження нових способів зварювання, в т. ч. у середовищі захисних газів, під флюсом, електрошлакового тощо, дозволяє вирішити проблему широкого використання в промисловості зварних виробів із деталями 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-, корозіє-, жаростійких та інших сталей. Випускаються також електроди для відновлювального зносостійкого 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 освоєння й впровадження у виробництво досягнень науки і техніки в галузі зварювання.

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

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

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

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

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

## РОЗВИТОК ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 1.1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ

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

Історія електричного зварювання бере свій початок в ХІХ 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 ХХ ст. З'явилися нові види зварювання: електрошлакове, під шаром флюсу, у вуглекислому газі, електронно-променево, підводне.

У 1924–1935 рр. використовувались електроди без покриття або з тонким іонізуючим 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 ХХ 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 вуглекислому газу.

Для з'єднання хімічно активних і тугоплавких металів наприкінці 50-х років ХХ ст. французькими вченими створено електронопроменеве 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 неруйнуючий контроль, техніка безпеки й екологія зварювальних процесів.

## 1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЗВАРЮВАННЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

До **механічного класу** 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 автоматичне і напівавтоматичне зварювання під флюсом, у захисних газах, електрозаклепками, електрошлакове та ін.

### 1.3. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

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

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

Розширюються галузі застосування лазерних технологій, зокрема потужних діодних зварювальних лазерів з високим к.к.д. Широкі можливості використання електронно-променевого зварювання, яким за один прохід можна зварювати метали товщиною до 200–300 мм. Для розвитку важкого машинобудування велике значення має електрошлакове зварювання при виготовленні крупногабаритних товстостінних виробів. Успішно розвивається контактне зварювання (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 суцільних дротів та 30% порошкових дротів від загального об'єму зварювальних матеріалів і практично всі спечені й порошкові стрічки. Удосконалюються технології нанесення спеціального та захисного покриття методами плазмо-дугового, електронно-променевого, газотермічного й динамічного напилення. Особливе значення мають технології склеювання. Створено значну кількість клеєвих композицій, які дають можливість з'єднувати одно- та різнорідні 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 різнорідних матеріалів (сталь — титан, мідь — алюміній, сталь — алюміній та ін.) перспективними є такі процеси: зварювання магнітно-імпульсне, зварювання вибухом, дифузійне зварювання, паяння, склеювання, механічні (штепсельні) з'єднання.

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

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

Важливою проблемою є застосування зварювальних технологій у космічному просторі, де перспективним способом вважається електронно-променево та лазерне зварювання. Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона разом з НВО «Енергія» проведені експерименти електронно-променевого зварювання, різання, 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 неплавким 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 впроваджене зварювання сталей у середовищі вуглекислого газу?
13. Які обсяги виробництва зварювальних матеріалів в Україні?
14. Назвіть зварювальні технології, розроблені Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона.

## Розділ 2 ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ Й ШВИ

### 2.1. ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

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

За видом з'єднання можуть бути стикові, кутові, таврові, внапуск, 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 переплавленими основним і наплавленим металами.

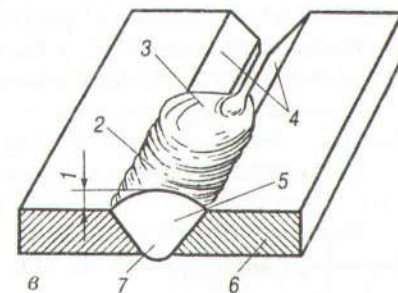
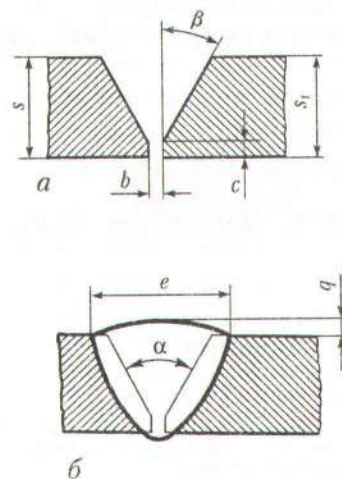


Рис. 2.1. Стикове з'єднання:

*a* — підготовка до зварювання; *б* — виконаний шов; *в* — зовнішній вид з'єднання; *1* — підсилення шва; *2* — зварний шов; *3* — зварна ванна; *4* — кромки; *5* — метал шва; *6* — основний метал; *7* — корінь шва; *b* — зазор; *c* — притуплення; *e* — ширина шва; *s* і *s*<sub>1</sub> — товщина зварюваних металів;  $\alpha$  — кут між скошеними кромками;  $\beta$  — кут скосу кромки

**Кромки** — це торцеві поверхні деталей, що підлягають зварюванню.

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

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

**Притуплення кромки** — нескошена частина її торця.

**Зазор** — відстань між притупленнями кромки.

**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 поверхнею зварюваних деталей.

**Глибина проплавлення** — найбільша глибина розплавленого основного металу в перерізі шва.

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

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

**Валиком** називають метал, наплавлений або переплавлений за один прохід.

**Прохід** — це одноразове переміщення в одному напрямку джерела нагрівання.

**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.

## Контрольні запитання та завдання

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

4. Що таке зварювальна ванна?
5. Що називають кратером?
6. Що називають основним металом?
7. Що називають присаджувальним 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 коренем 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 відносяться: товщина зварюваного металу, ширина шва, підсилення шва, глибина провару, товщина шва ( $t=h+q$ ), зазор, катет кутового шва, розрахункова висота кутового шва і товщина кутового шва.

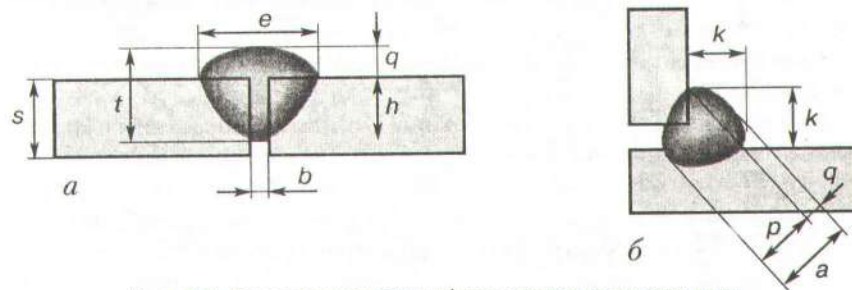


Рис. 2.2. Основні геометричні параметри зварного шва:

$a$  — 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

Зварні шви (рис. 2.3) класифікуються за:

- типом з'єднань: стикові (1), кутові (2), таврові (3), внапуск (4), торцеві (5);
- протяжністю: непереривчасті (6), переривчасті (7), переривчасті ланцюгові (8), переривчасті шахові (9);
- кількістю шарів (валиків): 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'єднань?
2. Які 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. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ШВІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

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

ГОСТ 5264-80 – ручне дугове зварювання;

ГОСТ 11534-75 – ручне дугове зварювання під гострими і тупими кутами;

ГОСТ 14771-76 – дугове зварювання в захисному газі;

ГОСТ 8713-79 автоматичне та напівавтоматичне зварювання під флюсом.

Видимі шви на кресленнях зображують суцільними лініями, а невидимі – штриховими. Позначають шви ламаною лінією, яка складається з похилої ділянки і полички. Похила ділянка закінчується 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 «дефіс» (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.

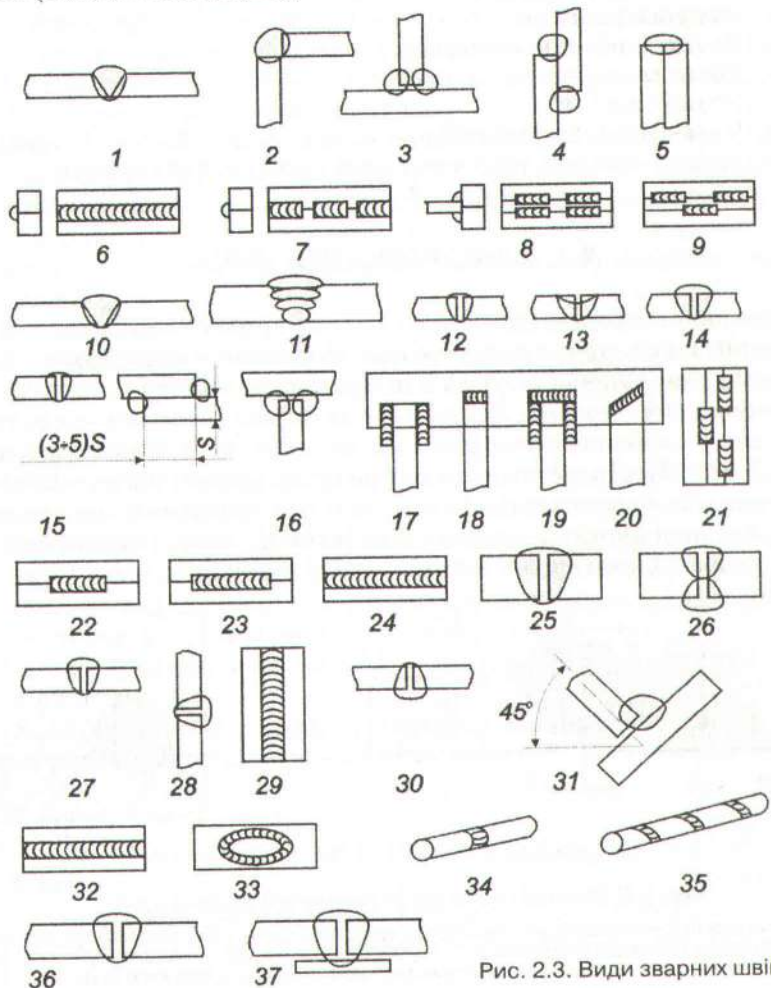


Рис. 2.3. Види зварних швів

Характеристика шва в умовному позначенні складається з таких елементів:

- позначення стандарту на типи й конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
- буквено-цифрове умовне позначення швів;
- умовне позначення способу зварювання (інколи 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 лицьового боку	із зворотного боку
	Напливи й нерівності обробити з плавним 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 лініях виносках, а умовне позначення вказують тільки на одному з них. Якщо стандарт вказаний в примітках креслення, то можливе спрощене буквено-цифрове позначення шва, яке вказує вид з'єднання і умовний номер шва за стандартом (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Позначення зварних швів

Назва шва	Приклад позначення
Стиковий двобічний шов із криволінійним скосом двох кромок, виконаний дуговим зварюванням покритими електродами	ГОСТ 5264-80-C26 
Стиковий однібічний шов зі скосом двох кромок за замкнутим контуром. Підсилення шва зняте механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-C17 ○ 
Кутовий однібічний шов без скосу кромок, монтажний. Катет шва — 5мм. Підсилення шва зняте механічною обробкою	ГОСТ 5264-80-У4 △ 5 ○ 
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 △ 6-50 Z 150 
Тавровий однібічний шов без скосу кромок, виконаний ручним дуговим зварюванням за замкнутим контуром із катетом 4 мм	ГОСТ 5264-80-Т1 △ 4 
Спрощене позначення стикового двобічного шва з двома симетричними скосами двох кромок, якщо стандарт вказаний в примітках креслення	C21 
Спрощене позначення при наявності на кресленні однакових швів і коли вказане позначення біля одного з них за №1	№1 
Видиме зображення шва на кресленні (суцільною лінією). З'єднання 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 

Державний професійно-технічний навчальний заклад «Східноукраїнський національний університет імені Івана Федорова»  
 ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ № 42  
 БІБЛІОТЕКА  
 № 544

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 ланцюговим 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  $\square$  ?
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 характеристика шва?
16. Як виконують спрощене позначення шва?
17. Де ставлять позначення шорсткості механічно-оброблюваної поверхні в умовному позначенні шва?
18. У яких випадках шви позначають одним номером, який ставлять на лініях-виносках?
19. Укажіть допоміжні знаки для позначення зварних швів.

## Розділ 3 ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА

### 3.1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА ТА ЇЇ БУДОВА

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

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

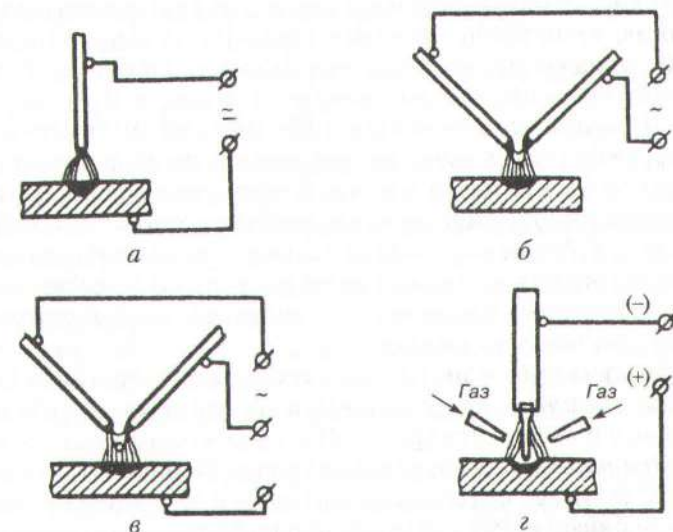


Рис. 3.1. Види зварювальної дуги:

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

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

Запалювання дуги постійного струму проходить таким чином. При короткому замиканні електрода (катод) на виріб (анод) виділяється велика кількість тепла, яке прискорює рух вільних електронів по замкнутому зварювальному 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 вилетіли 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 вийшли з електрода (катода) на шляху до анода зіштовхуються з атомами, вибиваючи з їхніх орбіт електрони і утворюючи позитивні іони або приєднуються до атомів, утворюючи негативні іони. Фотоіонізація полягає в утворенні заряджених частинок під впливом світлових (ультрафіолетових) променів, які поглинаються атомами й молекулами. Теплова іонізація проявляється при підвищенні температури нагрівання газів і парів дуги, що призводить до збільшення числа ударів іонів та електронів, а значить й утворення нових. Таким чином безперервна іонізація створює необхідні умови для стійкого горіння дуги. У сучасному зварювальному обладнанні для іонізації газу використовують високовольтний розряд спеціального генератора високочастотних коливань — осцилятора, який збуджує дугу без дотику електрода до виробу.

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

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

**Стовп дуги** є провідником електричного струму, де утворюються вторинні електрони та іони. Стовп дуги нейтральний. У ньому одночасно знаходиться однакова кількість заряджених частинок протилежних знаків. Процес з'єднання позитивних іонів з електронами й утворення нейтральних атомів називається *рекомбінацією*. У стовпі дуги виділяється близько 20% її загального

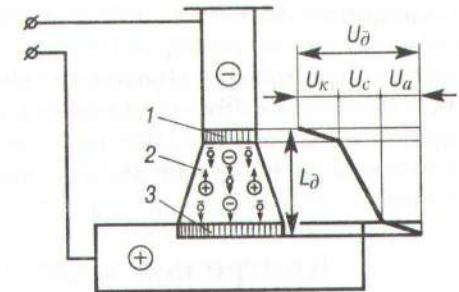


Рис. 3.2. Будова електричної дуги і розподіл напруги на її областях:

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

тепла, а спад напруги ( $U_c$ ) 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:

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

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

виділяється 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 газах?
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.

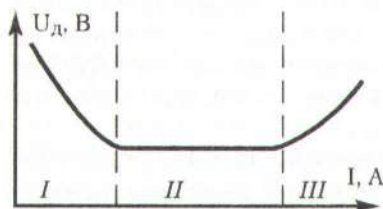


Рис. 3.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

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:

$$Q = 0,24 \cdot I_{зв} U_{д},$$

де  $Q$  — повна теплова потужність дуги, кал/с (1 кал = 4,1868 Дж); 0,24 — коефіцієнт переводу електричних одиниць у теплові, кал/Вт·с;  $I_{зв}$  — сила зварювального струму, А;  $U_{д}$  — напруга дуги, В.

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

$$q_{ef} = 0,24 \cdot I_{зв} U_{д} \eta_e,$$

де  $q_{ef}$  — ефективна теплова потужність дуги, кал/с;  $\eta_e$  — ефективний коефіцієнт корисної дії нагрівання виробу дугою.

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

$$\eta_e = \frac{q_{ef}}{Q}.$$

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

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

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

$$q_n = \frac{q_{ef}}{V_{зв}} = \frac{0,24 \cdot I_{зв} U_{д} \eta_e}{V_{зв}},$$

де  $q_n$  — погонна енергія зварювання, кал/см;  $V_{зв}$  — швидкість зварювання, см/с.

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

Погонна енергія знаходиться у прямій залежності від площі поперечного перерізу шва і визначається за емпіричною формулою:

$$q_n = 150F \text{ (кал/см),}$$

де  $F$  — площа поперечного перерізу шва, мм<sup>2</sup>.

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

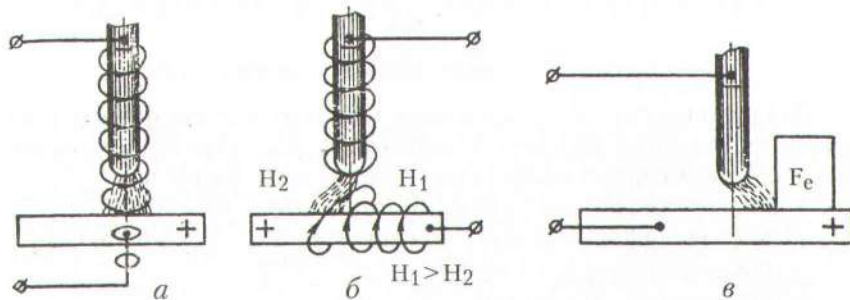


Рис. 3.4. Вплив магнітного поля на зварювальну дугу:

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

Найчастіше магнітне дуття викликають масивні металеві вироби (великі феромагнітні маси), що розташовані поряд із зварною ванною і притягують дугу. Це може викликати непровари, нерівномірне розплавлення кромки, погіршення 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 повна теплова потужність дуги?
3. Що таке магнітне дуття?
4. Якими способами можна послабити дію магнітного дуття?

## 3.3. ПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ТА ОСНОВНОГО МЕТАЛУ

### 3.3.1. Перенесення електродного металу через дугу на виріб

Електродний метал плавиться за рахунок тепла стовпа дуги й тепла зварювального струму. Кінець електрода нагрівається до температури 2300–2500°C, яка забезпечує його плавлення та утворення крапель розплавленого металу. Ці краплі під впливом сил поверхневого натягу, тяжіння, тиску газів, електростатичних й електродинамічних сил 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 величиною від тисячних часток міліметра до декількох міліметрів. За 1 с 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 напруги (довжини дуги) розмір крапель збільшується,

але зменшується їх кількість. Струминне перенесення утворюють дрібні краплі, які прямують одна за одною у вигляді безперервного ланцюга (струменя). При цьому зменшується вигорання легуючих елементів і розбризування, підвищується чистота металу шва та швидкість плавлення електрода. Струминне перенесення неможливе при зварюванні покритими електродами через низьку густину струму на електроді (10–20 А/мм<sup>2</sup>). При ручному дуговому зварюванні у вигляді крапель переноситься до 95% електродного металу, а решта 5% — це пара й бризки, які осідають на поверхні виробу. На відміну від електродугового зварювання при електрошлаковому процесі збільшення зварювального струму й напруги впливає однаково та викликає збільшення кількості крапель, зменшуючи їх розміри.

### 3.3.2. Плавлення основного металу

Плавлення основного металу проходить за рахунок тепла стовпа дуги й тепла приелектродної ділянки. Глибина та ширина проплавлення металу визначається концентрацією теплового й 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 струминне 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:

$$G_p = \alpha_p \cdot I_{зв},$$

де  $G_p$  — продуктивність розплавлення, г/год;  $\alpha_p$  — коефіцієнт розплавлення електрода, г/А·год;  $I_{зв}$  — 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 розбризування. Продуктивність перенесення електродного металу або продуктивність наплавлення визначають за формулою:

$$G_n = \alpha_n \cdot I_{зв},$$

де  $G_n$  — продуктивність наплавлення, г/год;  $\alpha_n$  — коефіцієнт наплавлення, г/А·год;  $I_{зв}$  — 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  $1 \div 3$  г/год). Коефіцієнт, який характеризує втрати розплавленого металу, визначають за формулою:

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

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

Втрати понад 20% роблять зварювання економічно не вигідним. 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 розбризування, 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:

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

### Контрольні запитання та завдання

1. Як визначають продуктивність процесу зварювання?
2. Що 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 й 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 властивості.

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

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

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, вологи, 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 вологи, кисню й водню;

— видалення іржі, масла та вологи 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 дріт, 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, молібден, ванадій та ін.), надаючи йому необхідних властивостей (міцності, в'язкості, корозійостійкості 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 в охолодженні 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 зварюванні, де проходить повільне охолодження металу шва. При великому об'ємі зварної ванни і низькій швидкості охолодження збільшується розмір зерен і знижуються механічні властивості шва. Для подрібнення структури в рідкий метал вводять модифікатори (алюміній, титан, ванадій та ін.).

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

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

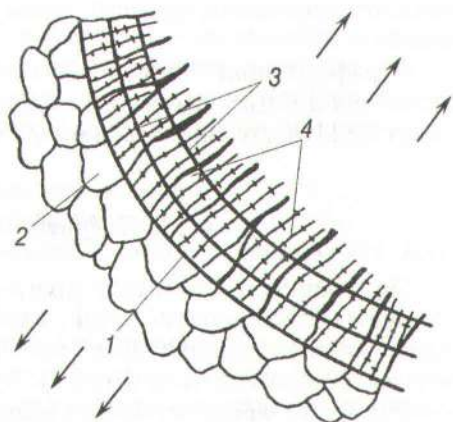


Рис. 4.1. Схема росту кристалітів:

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 переплавленим основним і наплавленим металами або тільки основним металом;

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

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

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

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

— **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;

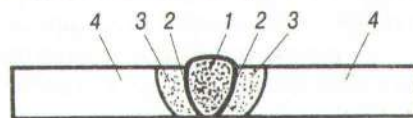


Рис. 4.2. Будова зварного з'єднання:

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

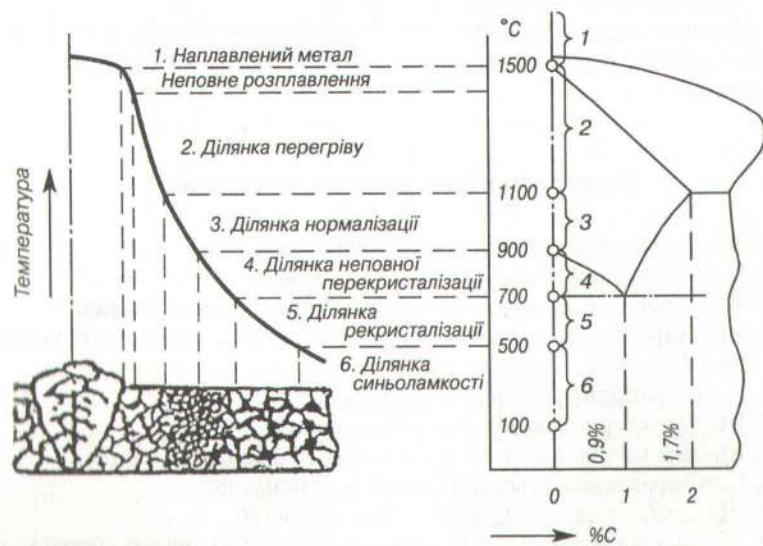


Рис. 4.3. Будова зони термічного впливу зварного з'єднання

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

— **синьоломкості** — 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 гартвані структури, які підвищують твердість, крихкість, спричиняють 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 уникають 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 розплавлення біляшовної зони?
5. Чим характеризується ділянка перегріву?
6. Що характерно для ділянки нормалізації?
7. Що характерно для ділянки неповної перекристалізації?
8. Чим характеризується ділянка рекристалізації?
9. Що характерно для ділянки синьоломкості?
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 залишаються між зернами, а в широких — 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 (черволамкість) сприяє підвищений вміст у шві сірки, вуглецю, кремнію та нікелю.

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

- використовують зварювальні метали з мінімальним вмістом сірки і вуглецю;
- у метал шва вводять марганець, який виводить сірку в шлак;
- вводять модифікуючі елементи (титан, алюміній), які сприяють утворенню дрібнозернистості структури;
- виконують попередній та супровідний підігрів виробу для зменшення розтягуючих 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 внутрішньокристалічними. 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 (холодноламкість) 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 широкі межі 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 зварюється мідь з свинцем, утруднене зварювання титану з вуглецевими сталями 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 середньолеговані сталі. Рідше зварюють високовуглецеві сталі. Основними труднощами, які виникають при зварюванні сталей є:

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

На зварюваність сталі також впливають хімічний склад електродів, 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 низьколеговані сталі, які не гартуються та зварюються без обмежень, незалежно від товщини металу, конфігурації швів і жорсткості конструкції в широкому інтервалі режимів зварювання. Для низьколегованих сталей з вмістом вуглецю більше 0,16%, товщині понад 25 мм і жорсткій конструкції необхідний попередній підігрів до 100–150°C;

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

3. **Обмежено зварювані сталі** — це вуглецеві сталі з вмістом вуглецю від 0,3% до 0,4%, низьколеговані й середньовуглецеві з вмістом вуглецю від 0,22% до 0,30%. Такі сталі схильні до утворення гартованих структур і зварюються з попереднім або супровідним підігрівом при температурі 150–350°C, який 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 відпуск при температурі 650°C, а для відповідальних виробів рекомендують термообробку;

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

## 4.6. АНАЛІЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МАТЕРІАЛІВ

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

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

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

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

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

Ще одна галузь застосування сканера — перевірка якості виробів та їхня відповідність стандартам. За допомогою ручного сканера можна перевіряти 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?

## ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДУГИ

### 5.1. ОБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПОСТА

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

Зварювальні пости можуть бути стаціонарні й пересувні.

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

Kабіни повинні освітлюватись денним і штучним світлом і добре провітрюватись. Для роботи сидячи, використовують столи висотою 500–600 мм, а при роботі стоячи — близько 900 мм. Кришку стола площею 1 м<sup>2</sup> 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, сталева щітка тощо) й технологічну документацію. Для зручності при зварюванні встановлюють металеве крісло з діелектричним сидінням. Під ногами має бути гумовий килимок, а все обладнання kabіни — 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 kabіна зварювального поста?
3. Як обладнується зварювальний пост?
4. Чим комплектується зварювальний пост у монтажних умовах?
5. Чим відрізняється стаціонарний і пересувний зварювальні пости?

## 5.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Джерела живлення зварювальної дуги класифікують (табл. 5.1):

- за родом струму: змінного та постійного;
- за типами: трансформатори (Т), випрямлячі (В), перетворювачі (П), генератори (Г), агрегати (А), установки (У);
- за видом: для дугового зварювання (Д), для плазмового зварювання (П),
- за способом зварювання: для ручного, під флюсом (Ф), у захисних газах (Г), універсальні (У), в інертних газах (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 похилоспадаючою 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:

- MIG – зварювання в інертних захисних газах (аргон, гелій);
- MAG – зварювання в активних захисних газах (вуглекислий газ).

Для умовних позначень можуть використовуватися інші літери, які означають конструктивні особливості, принцип 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 і пилу менші, ніж на відкритому повітрі.

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

ПШ112 розшифровується так: П – напівавтомат, Ш – 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 обмежену інформацію про особливості його конструктивного й схемного виконання, технологічні можливості та ін.

Для електродугового зварювання використовують джерела живлення змінного (одно- й трифазні зварювальні трансформатори) та постійного струму (зварювальні 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. Однопостові 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 вихідних клеммах джерела і силою зварювального струму. Вона називається зовнішньою або вольт-амперною характеристикою джерела живлення і визначає електричні властивості джерела під час роботи.

Зовнішні характеристики (рис. 5.1) можуть бути зростаючими (1), жорсткими (2), похило- (3) та крутоспадаючими (4). Вимоги до виду зовнішніх характеристик пов'язані з особливостями зварювального процесу, для якого призначене джерело живлення (відкрита дуга, в захисному газі, під флюсом, плавкий або неплавкий електрод та ін). Залежно від способу формування зовнішньої характеристики, вона може бути природною (за рахунок внутрішнього опору силового трансформатора або інших електромагнітних вузлів) або штучною, одержаною за допомогою електронних засобів керування. Зовнішня характеристика повинна вибиратись так, щоб при змінах довжини дуги режим зварювання не зазнавав змін.

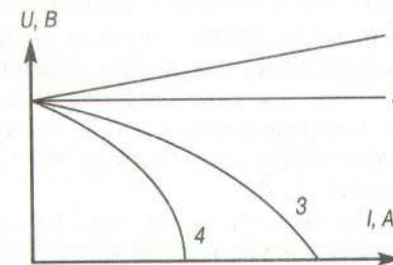


Рис. 5.1. Зовнішні характеристики джерел живлення:  
1 — зростаюча; 2 — жорстка; 3 — похило-спадаюча; 4 — крутоспадаюча

Джерела живлення постійного та змінного струму з крутоспадаючою характеристикою використовують для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом, автоматичного зварювання під флюсом із регулюванням швидкості подачі електродного дроту залежно від напруги дуги. Завдяки підвищеній напрузі холостого ходу забезпечується надійне початкове та повторне запалювання дуги. У випадку 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 розбризкування електродного металу мале. Джерела живлення для ручного зварювання оснащені регулятором струму.

Джерела живлення з похило-спадаючою характеристикою використовуються 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, сприяють стійкому процесу зварювання. Пояснюється це тим, що при випадковому збільшенні довжини дуги опір її зростає, а зварювальний струм зменшується, дріт буде плавитись повільніше й при постійній швидкості його подачі

обриву дуги не буде. Навпаки, при 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 запалювання 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 запалювання 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 вимканнями навантажень (під час очищення шва від шлаку, при зміні електрода тощо) і характеризується тривалістю навантаження (ТН) і тривалістю вмикання (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:

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

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

**Тривалістю вмикання** (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  $t_n = 2$  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:

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

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

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

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

## Контрольні запитання та завдання

1. Яким вимогам мають відповідати джерела живлення дуги?
2. Що називають зовнішньою характеристикою джерела 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 неплавкими електродами в інертних газах (алюміній та його сплави), у спеціальних установках і при електрошлаковому 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 (осердя), зібраний з тонких (0,5 мм) лакованих пластин електротехнічної сталі (рис. 5.2) і на якому розміщені первинна 3 та вторинна 2 обмотки. Для підвищення коефіцієнта трансформації в трансформаторах ТСК використовують батарею конденсаторів 4, яку вмикають паралельно до первинної обмотки.

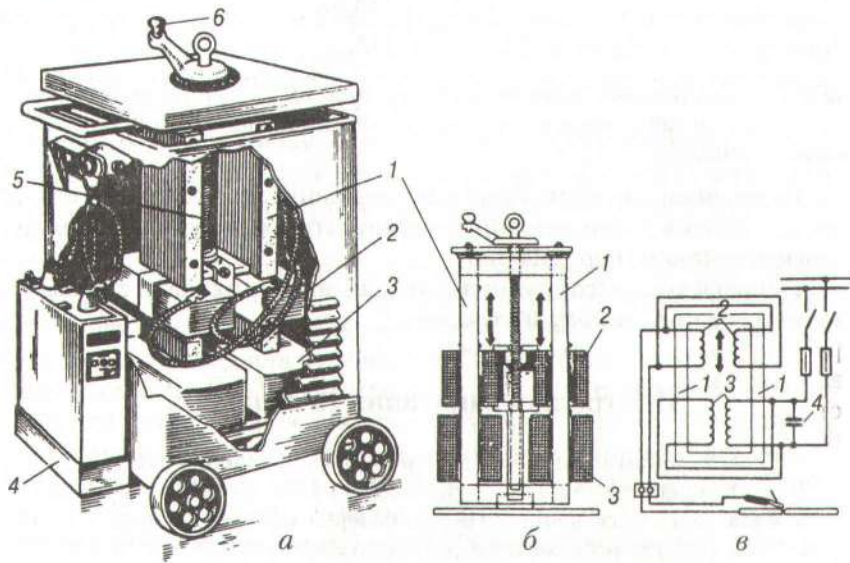


Рис. 5.2. Зварювальний трансформатор:

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 осердя трансформатора, створюючи в ньому змінний магнітний потік. Впливаючи на вторинну обмотку з меншою кількістю витків цей магнітний потік буде створювати (індукувати) в ній змінний струм меншої напруги але більшої величини. Знижуючи за допомогою трансформатора напругу, у стільки ж разів збільшують струм у вторинному колі, який у 3–6 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 первинної обмотки до кількості витків вторинної. Таким чином у трансформаторах знижується напруга з 220 В або 380 до 60–90 В і їх називають **знижувальними**. Коли під час 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 розсіювання 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 зросте, магнітний потік розсіювання зменшиться, а зварювальний струм збільшиться.

Змінюючи способи з'єднання обмоток, можна змінювати опір трансформатора ступінчасто. При послідовному з'єднанні первинних і вторинних обмоток опір трансформатора збільшується, а при паралельному з'єднанні первинних і вторинних обмоток загальний опір трансформатора зменшується. Коли використовується одна первинна і одна вторинна 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 дугового зварювання використовують трансформатори типу ТД, ТДП, ТСП із рухомими котушками; СТШ, ТДМ — із рухомими магнітними шунтами, а також ТСМ — із намоткою кабеля безпосередньо на кожух трансформатора для регулювання струму. Трансформатори деяких типів оснащують пристроями для зниження напруги холостого ходу із збудником-стабілізатором ВСД і конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності.

Для механізованого зварювання використовують трансформатори типу ТДФ, ТДФЖ із тиристорним регулюванням. Для 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 повинна бути напруга холостого ходу?
8. Які є пристрої стабілізації дуги?

## 5.5. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

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

Випрямлячі класифікуються:

- за числом обслуговуваних постів — одно- та багатопостові;
  - за числом фаз живлення — однофазні й трифазні;
  - за типом 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 магнітної комутації (типу ВСЖ), які регулюються за допомогою дроселя насичення (типу ВДГ); із регулюванням тиристорами (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 похилоспадаючими зовнішніми характеристиками), універсальні (для всіх видів зварювання з круто- та похилоспадаючими 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 електродного металу та для згладжування пульсації струму у коло постійного струму деяких випрямлячів умикають дросель.

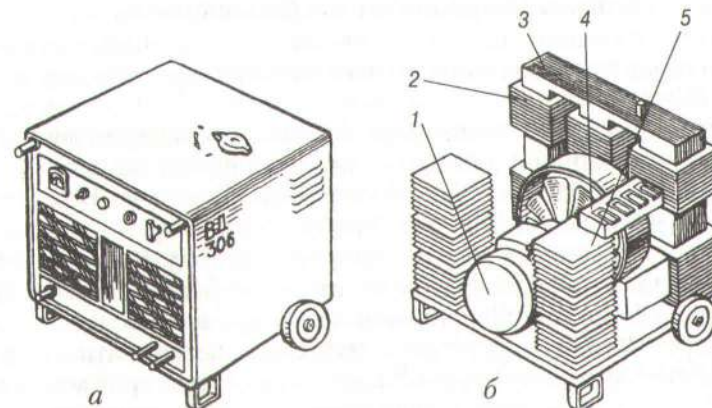


Рис. 5.3. Зварювальний випрямляч:

загальний (а) і внутрішній (б) вигляд; 1 — електродвигун; 2 — рухомі котушки; 3 — осердя трансформатора; 4 — перемикач діапазонів; 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 аргонодугового 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, ВДГИ-301, ВСЖ-303, ВДГ-401 та ін.

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

У багатопостових випрямлячах типу ВДМ-1001, ВДМ-1601, ВДМ-3001 та інших, струм регулюється баластним реостатом РБ-301, РБ-501, а напруга дуги при механізованому зварюванні у вуглекислому газі — баластним реостатом РБГ і дроселем ДГ-301, які з'єднані паралельно й вмикаються послідовно з дугою.

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

можливість 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 вирівнювального блоку. Тиристор — це керований кремнієвий вентиль. Він має третій керуючий електрод і призначений для випрямлення та регулювання сили струму. Керування тиристорами здійснюється фазозсувним пристроєм, яким можна змінювати за фазою кут відкриття тиристора щодо початку синусоїди напруги живильної сітки і тим самим регулювати середнє значення випрямленого струму. Фазозсувний пристрій має малу потужність, а значить і невеликі розміри та масу. Випускають тиристорні універсальні випрямлячі ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601, ВДУ-1201. Для плазмового різання розроблені тиристорні випрямлячі типу 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 зміною струму керування транзисторів. Він не залежить від коливань напруги живильної сітки й зміни напруги на дузі. Транзисторні випрямлячі безпечні у роботі, оскільки напруга холостого ходу не перевищує 40 В. Такі джерела живлення застосовують для аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом будь-якого металу малої товщини.

### Контрольні запитання та завдання

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

## 5.6. ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

Зварювальний генератор є складовою частиною зварювальних перетворювачів і зварювальних агрегатів. Він призначений для перетворення механічної енергії приводного двигуна в електричну (рис. 5.4). Принцип дії генератора ґрунтується на законі електромагнітної індукції. Змінний струм, який утворюється у рухомій частині — якорі при обертанні у постійному магнітному полі, випрямляють за допомогою колекторного пристрою або вентильного випрямного блоку. Зварювальні генератори бувають одно- й багатопостові. Їх виготовляють із падаючою або жорсткою зовнішніми характеристиками. Генератори, що входять до комплекту 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 навантаженню.

За способом виконання зварювальні генератори бувають однокорпусні (генератор і двигун на одному валі в одному корпусі) і роздільні (генератор і двигун розміщені на загальній рамі, а їх 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 відбору потужності та редуктор.

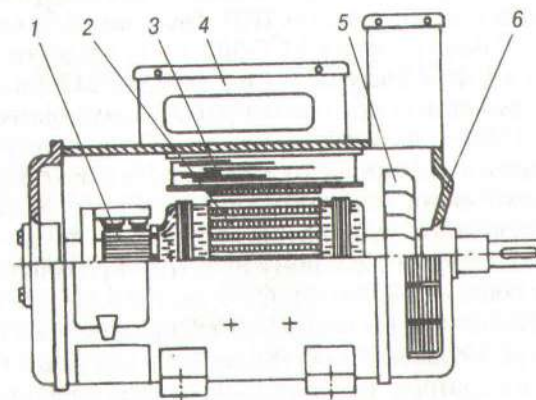


Рис. 5.4. Зварювальний генератор:

1 — колектор із струмознімачем; 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 розбризування металу, вищий коефіцієнт корисної дії, має менші розміри та масу порівняно з генераторами самозбудження типу ГСО і ГД. Вентильні генератори не мають обмоток на роторі-індукторі (рухома частина). Обмотки якоря і збудження закріплені на статорі (нерухома частина).

### Контрольні запитання та завдання

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

### 5.7. ЗВАРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

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

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

Зварювальний перетворювач ПСГ-500 (рис. 5.5) складається з генератора постійного струму ПСГ-500-1 і приводного 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 припаяні до мідних пластин колектора 1. У розподільному пристрої 4 розміщені пакетний вимикач, регулювальний реостат 3, вольтметр 6, затискачі 5 та інша апаратура. Магнітне поле в генераторі створюється магнітними полюсами обмоток збудження, які живляться постійним струмом від щіток самого генератора. Коли увімкнуті електродвигун, якорь 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,

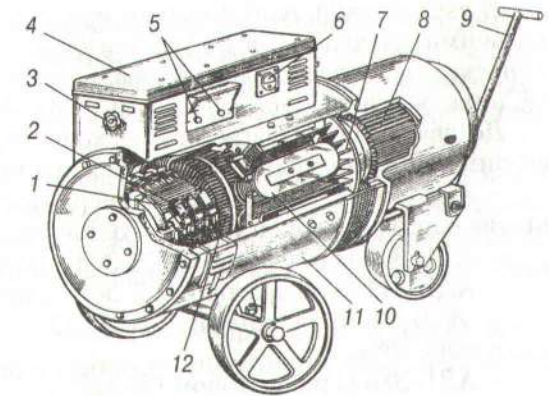


Рис. 5.5. Зварювальний перетворювач:

- 1 — пластины 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 — якорь

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 приводні 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), вентильні зварювальні генератори 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 під водою).

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

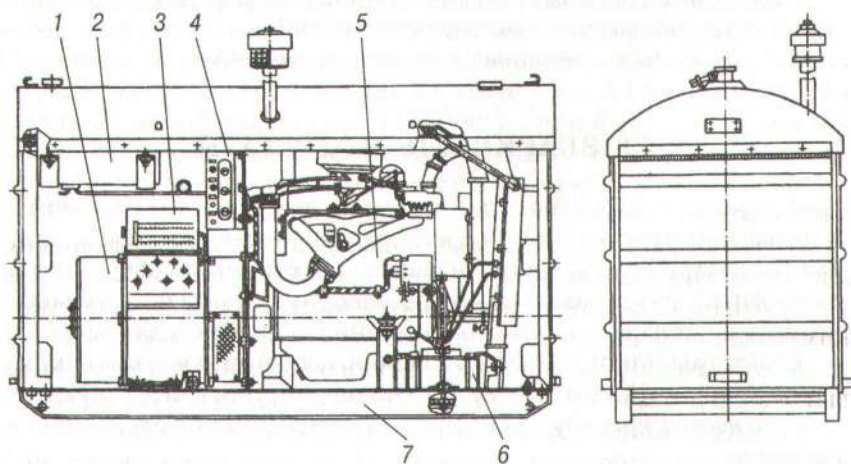


Рис. 5.6. Зварювальний агрегат:

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, перехідна перемичка та вивідні затискачі приєднання зварювальних кабелів. За допомогою перемички встановлюють певний діапазон струмів. 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. Для пуску двигуна використовують акумуляторну батарею 6СТ-60ЭМ.

На пульті керування розміщені: вимірювальні прилади, вимикачі, 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-3112 із генератором ГД-3120 і двигуном Д144;
- АДС-300М із генератором ГСО-300 і двигуном 4 ч 8,5/11;
- АСД-300Г 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 АДС-3-1 із генераторами СПГ-3-VIII і двигунами ЯАЗ-М204Г;

— АСДП-500Г із генератором ГСМ-500 і двигуном ЯАЗ-М204Г.

Дизельні агрегати можуть бути одно- й багатопостові, стаціонарні та пересувні. Їх установлюють 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 вентильними генераторами відносяться агрегати марок:

- АДБ-3120 із вентильним генератором ГД-314 і бензиновим двигуном ЗМЗ-320-01;
- АДД-501 із двопостовим вентильним генератором і дизельним двигуном Д144;
- АДБ-3122 із вентильним 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 чотирипостовим 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 СГП-3-V і двигуном постійного струму ПН-290;
- САМ-400-1 із генератором СГП-3-V і трифазним асинхронним двигуном типу МАФ-82-73/4;
- АСУМ-400 із генератором ГСУМ-400 і двигуном змінного струму типу МАФ-82-73/4.

### Контрольні запитання та завдання

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

### 5.9. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом в інертних газах використовуються спеціалізований випрямляч ВДГИ-302 та на його базі напівавтомат ПДИ-303 й спеціальні генератори імпульсів типу ИИП-1 (для зварювання алюмінію, міді, титану в аргоні); ИИП-2, ГИ-ИДС-1, ГИД-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 зменшуються зварювальні деформації, забезпечується якісне 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 ПСО) з крутоспадними характеристиками. Вони забезпечують постійний за величиною струм плазмової дуги, а значить і високу якість зварювання або різання. Вимоги щодо джерел живлення зумовлені особливостями плазмової дуги. В результаті штучного стискання стовпа дуги рідиною або інертним газом у плазмотронах виникає плазма, температура якої може досягати 30 000°C. Якщо робоча напруга плазмотрона перевищує номінальну напругу джерела живлення, необхідно послідовно з'єднувати два або три однакових джерела. При послідовному з'єднанні генераторів їх обмотки 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 (безпеку робітника при високій напрузі забезпечується конструкцією плазмотрона).

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

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

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

Для плазмового різання використовуються випрямлячі типів ИПГ-500, ИПР-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 (штиковою) зовнішніми характеристиками. Транзистори вмикаються послідовно в коло дуги і призначені для плавного регулювання зварювального струму шляхом зміни струму бази транзисторів.

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

Для зварювання трифазною дугою використовуються спеціальні трифазні трансформатори, перевагою яких є рівномірне завантаження всіх трьох фаз мережі живлення. Процес зварювання здійснюється двома електродами, ізольованими один від одного завдяки використанню спеціального тримача, в якому підвід струму до кожного електрода виконується автономно 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 ТСШ-1000-3, ТСШ-3000-3 та ін. Вони виготовлені на базі двох однофазних трансформаторів. Підключають трансформатор у зварювальне коло шляхом під'єднання зварювальних кабелів до крайніх клем вторинних обмоток і проводу від виробу до середньої клемки.

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 підмагнічуванням 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 тугоплавкої оксидної плівки, що перешкоджає зварюванню.

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

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

### **5.13. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ**

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

При паралельній роботі зварювального обладнання необхідно виконувати такі вимоги:

- зовнішні характеристики джерел живлення повинні бути подібні;

- з'єднані 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.

Нині 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 паралельне з'єднання джерел живлення?

## 5.14. ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРИЛАДДЯ ЕЛЕКТРОЗВАРНИКА

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

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

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

Електродотримачі мають відповідати таким вимогам:

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

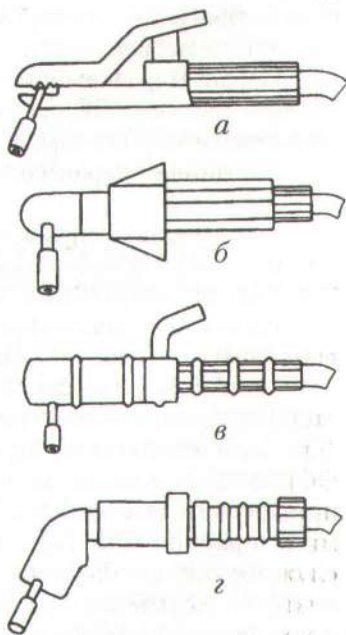


Рис. 5.7. Електродотримачі:

*a* — пасатижний; *b* — гвинтовий;  
*v* — важільний; *z* — защіпний

- 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, РГДО, РГДВ, КРПГН, КРПТН, КРПСН, ПРН. Довжина кабелю при монтажних роботах може становити 40–50 м, але в таких випадках буде значний спад напруги. Допустимим вважається спад напруги до 4 В. Якщо спад напруги більший за допустимий, то джерело живлення наближають до місця зварювання або збільшують переріз зварювального проводу.

Переріз кабелів вибирають залежно від сили зварювального струму із розрахунку 5–7 А/мм<sup>2</sup> (табл. 5.2). Кабель складається з великої кількості відпалених мідних дротів діаметром 0,18–0,20 мм та буває одно- і двожилийний.

Таблиця 5.2

Площа поперечного перерізу зварювальних проводів

Сила струму, А	Площа перерізу проводу, мм <sup>2</sup>	
	одинарного	подвійного
125	25	—
315	50	2×16
500	70	2×25

Зменшення перерізу кабелю призводить до перегрівання й швидкого руйнування ізоляції.

Для з'єднання частин зварювальних кабелів між собою використовують 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 безпечно за умовами нагрівання проходження зварювального струму. Окремі елементи, які використовуються в якості зворотного проводу, повинні бути з'єднані між собою болтами, струбцинами або затискачами. При проведенні зварювальних робіт у пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях

## Світлофільтри, рекомендовані при дуговому зварюванні

## Дугове зварювання металевим електродом

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

## Дугове зварювання важких металів металевим електродом у середовищі інертних газів

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

## Дугове зварювання легких сплавів металевим електродом у середовищі інертних газів

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

## Дугове зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертних газів

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

Дугове зварювання металевим електродом у CO<sub>2</sub>

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

## Плазмове зварювання і різання

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

## Повітряно-дугове поверхнєве різання, зварювання й виплавлення

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

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

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

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 пересувними зварювальними агрегатами не повинна перевищувати 10 м. Проводи (кабелі) слід захищати від механічних пошкоджень, контакту з водою, маслами, сталевими канатами, шлангами з горючими газами і гарячими трубопроводами.

Для роботи зварника випускаються спеціальні комплекти (КИ-125, КИ-315, КИ-500), які містять електродотримачі, сполучну муфту, зварювальний кабель, запасні частини до електродотримача, світлофільтри, затискачі, шлаковіддільник, металеву щітку. Виготовляють також набори інструментів ЭНИ-300 та ЭНИ-300/1 до комплексу яких входять електродотримач, клема заземлення, сполучна муфта, щітка-зубило, викрутка, плоскогубці, розвідний ключ, клеймо, молоток, світлофільтри, відрізок кабелю (3 м).

Для виконання зварювальних робіт зварник повинен мати й допоміжний інструмент: молоток, зубило, напилки, сталеву щітку, 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 щитки або маски із спеціальними світлофільтрами (рис. 5.8). Їх виготовляють із чорної фібри або спеціальної пластмаси. Залежно від сили зварювального струму щитки й маски оснащені світлофільтрами, які виготовляють із темно-синього скла марки ТС-3С двох видів: світлофільтри для нормального огляду (розмір 52×102 мм) і збільшеного (90×102 мм) з товщиною від 1,5 до 4,0 мм. Із зовнішнього боку світлофільтри захищають від бризок розплавленого металу віконним склом товщиною 2,5 мм, яке при забрудненні міняють. Категорично забороняється

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

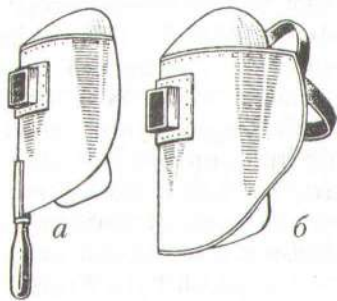


Рис. 5.8. Щиток (а) і маска (б) електрозварника

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

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



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

ють з брезенту, сукна, замші. Кишені мають закриватися клапанами, 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 респиратори.

### Контрольні запитання та завдання

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

### 5.15. ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Обслуговування та ремонт зварювального обладнання виконують за єдиною системою планово-запобіжного ремонту, що включає міжремонтне обслуговування, планові профілактичні огляди, плановий малий, середній і капітальний, а також позаплановий ремонт. Всі роботи з обслуговування і ремонту виконуються відповідно до рекомендацій та вимог експлуатаційної документації обладнання. Тому зварник зобов'язаний ознайомитись із технічною документацією, що входить до комплекту зварювального устаткування, й керуватися 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.

**Міжремонтне обслуговування** включає усунення дрібних несправностей, 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 устанавлюється 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 заземлення та зовнішній стан устаткування для виявлення випадкових пошкоджень.

При періодичному обслуговуванні раз на місяць обладнання очищують від пилу, бруду, протирають ганчіркою і продувають стисненим повітрям, а також перевіряють стан і надійність електричних контактів. Один раз на 3 міс перевіряють опір ізоляції (мегаомметром), стан конденсаторів та елементів електричної схеми. Раз на 6 міс очищують контакти перемикачів діапазонів струму від мідного пилу, змащують мастилом ЦИАТИМ-201 контакти, а мастилом УТ-1 — тертьові 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 проводять щоденне обслуговування обладнання?
3. Який перелік робіт при періодичному обслуговуванні джерел живлення?

## 6.1. ВИДИ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ

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

Електроди можуть бути плавкі й неплавкі. Плавкі електроди виготовляють із сталі, чавуну, міді, алюмінію, їх 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 обгортають водонепроникним папером і маркують металевою 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 випускають обміднений зварювальний дріт.

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 напівспокійної сталі. У кип'ячих сталях концентрація вуглецю вища ніж кремнію, що сприяє утворенню СО і СО<sub>2</sub> при високих температурах і кращому їх виходу із зварної ванни ще до повного затвердіння металу шва. Дроти із спокійної сталі викликають пористість (гази СО і СО<sub>2</sub> залишаються у вигляді зовнішніх відкритих пор), менше проплавлення, сильне розбризування і гірше формування шва. При газовому та електрошлаковому зварюванні охолодження зварної ванни відбувається повільно, тому використання дроту із спокійної сталі пористості не викликає.

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

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

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

Таблиця 6.1

**Сталевий зварювальний дріт (ГОСТ 2246-70)**

Дріт	Марка дроту
Низьковуглецевий (6 марок)	Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2
Легований (30 марок)	Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-13Х2МФТ, Св-04Х2МА, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2М, Св-10ХН2ГМТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08ХН2ГМТА, Св-08ХН2ГМЮ, Св-08ХН2Г2СМЮ, Св-06НЗ, Св-10Х5М
Високолегований (41 марка)	Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х16Н8М2, Св-08Х18Н8Г2Б, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-07Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-06Х19Н10М3Т, Св-04Х19Н11М3, Св-06Х20Н11М3ТБ, Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н12Г2Т, Св-06Х25Н12ТЮ, Св-08Х25Н13БТЮ, Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-08Х21Н10Г6, Св-30Х25Н16Г7, Св-10Х16Н25АМ6, Св-09Х16Н25М6АФ, Св-01Х23Н28М3Д3Т, Св-30Х15Н35В3Б3Т, Св-08Н50, Св-06Х15Н60М15, 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 указують 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 обмінений, то в кінці марки ставлять букву О.

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

Присаджувальний метал повинен відповідати таким вимогам:

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

**6.2.2. Самозахисний дріт**

Самозахисний дріт суцільного перерізу без додаткового захисту використовують у монтажних умовах (на вітрі й 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 вигорання 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-15ГСТЮЦА — для зварювання вуглецевих і легованих сталей (додають церій та цирконій).

Самозахисним дротом можна зварювати метали, покриті іржею, маслом, окалиною (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Якість металу шва, яку одержують при зварюванні самозахисним дротом, прирівнюють до якості шва, виконаного електродом типу Э46 та Э50.

### 6.2.3. Дроти й прутки для зварювання та наплавлення чавуну

При зварюванні та наплавленні чавунів використовують чавунні прутки, відлиті з сірого чавуну. Промисловість випускає прутки 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) — високонікелевий сплав для холодного зварювання та заварювання дефектів тонкостінних деталей з сірого, ковкого й високоміцного чавунів (на постійному струмі прямої полярності).

При зварюванні чавунів широко застосовують порошкові самозахисні дроти марок:

- ПП-АНЧ2; ППЧ-3 — для гарячого заварювання крупних дефектів, які не піддаються поверхневому гартуванню;
- ППЧ-3М; ППЧ-6 — для гарячого заварювання крупних дефектів, які підлягають поверхневому гартуванню;  
— ППЧВ-1 — для гарячого заварювання дефектів рідкою й напіврідкою ванною або валиками;
- ППАНЧ-5 — для гарячого заварювання дефектів валиками або напіврідкою ванною;
- ППЧН-7 — для холодного заварювання наскрізних і ненаскрізних дефектів на оброблених поверхнях;
- ППЧМН-8 — для холодного заварювання ненаскрізних дефектів на оброблених поверхнях.

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

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке електрод?
2. Які бувають електроди?
3. Для чого призначений сталевий зварювальний дріт?
4. Яке умовне позначення зварювального дроту?
5. Які дроти і прутки 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-магнієві);
- Св-АК5, Св-АК10 (алюмінієво-кремнієві);
- Св-1201 (алюмінієво-мідний).

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

У ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України розроблені нові присадкувальні дроти, що містять скандій та цирконій й призначені для зварювання високоміцних 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;

- МНКЖТ5-1-0,2-0,2 — для зварювання міді та мідно-нікелевих сплавів у захисних газах, у т. ч. і в середовищі азоту; зварювання міді з латунями, бронзи з сталями; зварювання мідно-нікелевих сплавів із латунями, бронзами та сталями;

- Бр.АМц9-2 — для зварювання алюмінієво-марганцевої бронзи, миш'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 хромистої бронзи;

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

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

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

### 6.3.3. Дріт для зварювання титану та його сплавів

Для зварювання титану та його сплавів використовують суцільний дріт марок:

- ВТ1-00 — для зварювання технічного титану;

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

- ВТ6св; СПТ-2 — для зварювання високоміцних титанових сплавів.

- Також використовують порошковий дріт марок:

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

- ППТ-3 — для зварювання високолегованих титанових сплавів.

### 6.3.4. Дріт і прутки для зварювання нікелю, 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; Х20Н80 (ніхром) та ін.

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

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

- ЦА4; ЦАМ4-1 — для 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, ролики (де проходить тертя металу із мащенням);

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

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

Св-06Х19Н9Т (НВ160-190); Св-08Х19Н9Ф2С2 (НВ200-230) – кавітаційно-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, вали, шпинделі);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Цифри та букви після індексу Нп (наплавлювальний) вказують хімічний склад дроту. Марки дроту вибирають, урахувавши необхідну твердість і навантаження наплавлюваних 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 упаковують і зберігають ідентично зварювальному.

#### 6.4.2. Порошковий дріт для наплавлення під флюсом

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти марок:

- ПП-АН120 – кранові колеса, вали, шківни, ролики конвеєрів;
- ПП-25Х5ФМ – штампи гарячої штамповки, валки гарячої прокатки;
- ПП-АН103 – ножі холодного різання металу, гальмівні шківни;
- ПП-АН133 – кавітаційно-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-ТН250 – осі, вали, колеса вагонів із сталей 25Л і 45Л;
- ПП-АН122 – колінчасті вали, хрестовини карданних валів;
- ПП-АН130 – ножі гарячого різання, ковальський інструмент;
- ПП-АН135 – зуби й ковші екскаваторів;
- ПП-У10Х4Г2Р – котки та ролики 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 трубопровідної арматури;
- Св-07Х25Н13 – корозійне спрацювання;
- Св-03Х22Н11Б – одношарове наплавлення сталей;

• Св-04X19Н11М3 — наплавлення другого шару на сталі, коли конструкція не обробляється термічно в інтервалі температур 500–800°C та ін.

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

#### 6.4.5. Порошкові електродні стрічки для наплавлення

Для наплавлення поверхонь деталей широко застосовують порошкові електродні стрічки марок:

- ПЛ-У25Х25Г3Ф2Р (розміри 45×3 мм) — абразивне спрацювання робочих органів землерийних машин;
- ПЛ-АН171 (20×4) — інтенсивне газо- і гідроабразивне спрацювання деталей;
- ПЛ-АН111 (14×4) — абразивне спрацювання з помірними ударами при підвищених температурах до 600°C (пристрої доменних печей, 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-10Х14Н3, ЛС-20Х10Г10Т та ін.

#### 6.4.7. Гранульовані порошки для наплавлення

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

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

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

#### 6.4.8. Литі твердосплавні прутки для наплавлення

Для наплавлення литих твердосплавних прутків застосовують газове й дугове наплавлення неплавким 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 землечерпалок, 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 наплавлювальні матеріали?
2. Яке умовне позначення наплавлювальних дротів?
3. Які матеріали використовують для наплавлення твердих сплавів і чавунів?
4. Які марки зварювального дроту використовуються для наплавлення?
5. Які порошкові дроти застосовують для наплавлення під флюсом?
6. Коли використовують електродні стрічки для наплавлення?
7. З якою метою 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 сталеві оболонки, в яку запресовуються порошки феросплавів (для легування металу), залізні порошки (для підвищення продуктивності та які є наповнювачем), газо- і шлакоутворюючі компоненти (для захисту розплавленого металу від повітря шляхом виділення газів при розплавленні осердя).

Порошковий дріт виготовляють на спеціальних верстатах методом безперервного згортання 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 двошарових порошкових дротів (рис. 6.1 з). У якості порошків (шихти) використовують: рутило-целюлозні, карбонатно-флюоритні (флюорит-плавиковий шпат  $\text{CaF}_2$ ), флюоритні, рутилові, рутило-флюоритні. Останні два види застосовують для зварювання з додатковим захистом у вуглекислому газі. Порошковим дротом зварюють у захисних газах, під шаром флюсу або відкритою дугою. Зварювання відкритою дугою застосовується у випадках, коли утруднене використання ручного, дугового або механізованого зварювання у захисних газах і під флюсом. При зварюванні порошковим дротом у захисних газах добре розкиснюється 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.

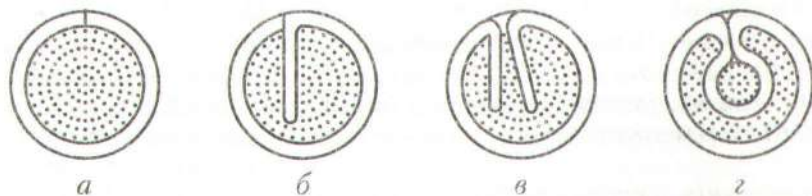


Рис. 6.1. Поперечний переріз порошкових дротів:

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

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

Для зварювання сталей використовують порошкові дроти таких марок:

- самозахисні дроти загального призначення — ПП-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-АН1 (для зварювання під водою), ПП-АН6 (для зварювання труб теплообмінників);
- порошкові дроти для зварювання легованих 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 фториднокарбонатного типу марки ПП-АН60 для зварювання у всіх просторових положеннях низьковуглецевих і низьколегованих сталей (забезпечує високу міцність, ударну в'язкість, добре відокремлення шлаку, незначне розбризкування і виділення зварювального аерозолі).

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.

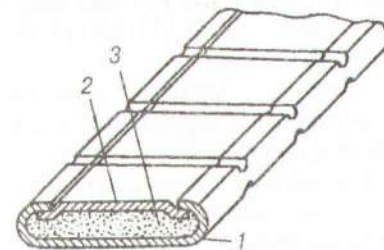


Рис. 6.2. Порошкова стрічка:  
1 — нижня стрічка; 2 — верхня стрічка;  
3 — шихта

Для наплавлення використовують електродні порошкові дроти марок: ПЛ-У25Х25ГЗФ2Р, ПЛ-АН171, ПЛ-У40Х38ГЗРТЮ та ін., а також спечені електродні стрічки марок: ЛС-5Х4В3ФС, ЛС-70Х3НМ, ЛС-10Х14НЗ, ЛС-20Х10Г10Т та ін. Умовні позначення марок

порошкових дротів: ПП — порошок 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 букв і цифр.

### 6.5.1. Порошкоподібні зварювальні матеріали

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

### Контрольні запитання та завдання

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

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

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

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

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

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

Крім цього до електродів ставлять спеціальні вимоги:

- одержання швів із певними експлуатаційними властивостями (підвищена міцність, корозостійкість, жорсткість, стійкість проти спрацювання тощо);
- одержання швів заданих характеристик (глибина провару, підсилення, катет шва та ін.);
- використання визначених способів зварювання (просторове розташування, впирання 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 гази, 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, декстрин та ін.). Деякі речовини обмазки одночасно виконують декілька функцій — стабілізуючі, газоутворюючі та інші.

Шлаки, що утворюються при плавленні покриття, можуть бути короткими й довгими. У **коротких шлаках** проходить швидке зростання в'язкості із 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 відрізнятися від коефіцієнта лінійного розширення металу.

За товщиною покриття бувають якісні (товсті) й стабілізуючі (тонкі). Якісні покриття мають товщину 0,5–2,5 мм і становлять 20–40% маси електродного дроту, а із залізним порошком — відповідно 3,5 мм і 50%. Їх використовують для одержання 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.

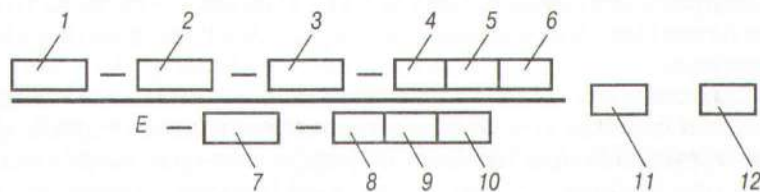


Рис. 6.3. Схема умовного позначення електродів:

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

1. **Тип електрода** характеризує мінімально гарантований тимчасовий опір наплавленого металу електродами даного типу. Умовне позначення: Э — електрод, число після букви означає мінімальний опір, а буква А після них — високу пластичність наплавленого металу. Наприклад, Э46А означає тип електрода за ГОСТом 9467-75 із мінімальним тимчасовим опором 460 МПа (46 кгс/мм<sup>2</sup>) і високими пластичними властивостями наплавленого металу порівняно з електродами відповідного типу без цієї букви. За типом електроди класифікують:

— для зварювання низьковуглецевих 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-10Х1М1НБФ, Э-10Х3М1БФ;

— для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями — 49 типів (ГОСТ10052-75) Э-12Х13, Э-06Х13Н, Э-08Х20Н9Г2Б та ін.;

— для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями — 44 типи (ГОСТ10051-75) Э-10Г2, Э-30Г2ХМ, Э-65Х11Н3 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-08Х20Н9Г2Б означає хімічний склад наплавленого металу: 0,08% С, 20% Cr, 9% Ni, 2% Mn, 1% Nb.

2. **Марка електрода** характеризується складом покриття, маркою електродного дроту, властивостями металу шва. Кожному типу може відповідати одна або декілька марок електродів. Наприклад, марки АНО-21, 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 упаковках електродів в умовному позначенні часто проставляють 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 умовним позначенням):

• У — для зварювання вуглецевих і низьколегованих 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;
- Т — для зварювання легованих теплостійких сталей;
- Н — для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями.

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

- М — з тонким покриттям ( $D/d \leq 1,20$ );
- С — з середнім покриттям ( $1,20 < D/d \leq 1,45$ );
- Д — з товстим покриттям ( $1,45 \leq D/d \leq 1,80$ );
- Г — з особливо товстим покриттям ( $D/d > 1,80$ ).

6. **Якість електрода** залежить від вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору), точності виготовлення, стану поверхні покриття, суцільності 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 опір розриву  $\sigma_B = 370, 410, 430, \text{ і } 510$  МПа (відповідно 38, 42, 44 і 52 кгс/мм<sup>2</sup>), третя — відносне видовження  $\delta_B\%$  і критичну температуру крихкості  $T_x$ . Третя цифра характеризує одночасно  $\delta$  і  $T_x$ , а якщо ці показники відповідають різним індексам, то третій індекс встановлюють за  $\delta$  і в дужках наводять додатковий четвертий індекс, який характеризує  $T_x$  (табл. 6.2).  $T_x$  — мінімальна температура, при якій ударна в'язкість на зразках з V-подібним сколом кромок не менше 0,35 МДж/м<sup>2</sup> (3,5 кгс·м/см<sup>2</sup>).

Таблиця 6.2

**Індекси металу шва, виконаного електродами для зварювання конструкційних сталей з  $\sigma_B \leq 600$  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	24
	51	18	18	18	20	20	20	20	20	20
$T_x, ^\circ\text{C}$	Кожні	Нерегламентована	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60	

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

Наприклад, індекси Е 412 (5) означають:  
41 —  $\sigma_B = 410$  МПа; 2 —  $\delta \geq 22\%$ ; (5) —  $T_x = -40^\circ\text{C}$ .

В умовному позначенні електродів для зварювання легованих конструкційних сталей з  $\sigma_B > 600$  МПа (60 кгс/мм<sup>2</sup>) група індексів металу шва подвійна. Спочатку вказується хімічний склад шва (принцип маркування для легованих сталей), а потім через дефіс — цифра, яка характеризує  $T_x$ .

Наприклад, індекси 09Г2Н10МХ-3 означають:

09 — 0,09% С; Г2 — 2% Мн; Н10 — 10% Ні; М — 1% Мо;

Х — 1% Сг; 3 —  $T_x = -20^\circ\text{C}$ .

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

Наприклад, індекси 27 означають:

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

Таблиця 6.3

**Робочі температури швів, виконаних електродами для зварювання легованих теплостійких сталей**

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

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

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

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

Третя цифра характеризує максимальну робочу температуру зварних з'єднань, при якій допускається застосування електродів при зварюванні жаростійких сталей, °С.

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

Таблиця 6.4

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

Цифра індексу	Значення цифр індексу			
	перша	друга	третя	четверта
0	—	—	—	Не регламентована
1	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) — рутилове; 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 виділенню токсичних газів, тому виробництво електродів з кислим покриттям скоротилося.

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

Недоліком основного покриття є висока чутливість щодо утворення пор при збільшенні довжини дуги, наявності іржі, масла, окалини й вологи на кромках металу.

**Рутилове покриття** складається з титанових сполук (рутил, титановий концентрат, ільменіт), які призначені для шлакового захисту, а також целюлози, крейди, мармуру, декстрину — для газового захисту. Розкиснення й легування проводиться феромарганцем. Рутилове покриття забезпечує стабільне горіння дуги на змінному та постійному струмі, легке відділення шлаку, якісне формування шва, низькі витрати металу на розбризкування. Метал шва мало схильний до утворення пор при зварюванні іржавого, вологого та окисненого металу при зміні довжини дуги.

**Целюлозне покриття** складається з органічних складових (целюлоза, крохмаль, харчове борошно, декстрин), які призначені для газового захисту шлакоутворюючих складових (рутил, 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 вигорання органічних компонентів і великі витрати на розбризкування.

**Електроди змішаного покриття** мають подвійне умовне позначення, яке складається з двох букв. Наприклад, РА — змішане рутилове 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 закордонного виробництва мають спеціальне умовне позначення у вигляді стрілок (рис. 6.4).



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

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

Таблиця 6.5

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

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

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

Закордонне умовне позначення роду струму таке: АС — змінний струм, ДС — постійний струм.

11. **Номер ГОСТ 9466-75**, який визначає класифікацію, розміри й загальні технічні вимоги на покриті 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 плавкі штучні електроди?
2. Які є види покриття електродів?
3. Яке призначення покриття електродів?
4. Що таке тип електрода?
5. Яке умовне позначення плавких штучних електродів?
6. Які електроди використовуються при зварюванні?

**6.8. ПРИЗНАЧЕННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ**

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

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

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

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

Для зварювання 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 АНДР-1, ЭПС-АН1, а для різання на повітрі — АНР-2, АНР-3, АНР-4.

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

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

- АНО — для зварювання конструкційних сталей;
- АНВ — для зварювання високолегованих сталей;
- АНП — для зварювання високоміцних сталей;
- АНЖР — для зварювання 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.

Вітчизняні підприємства випускають електроди з рутилітовим (марка АНО-4, АНО-21, МР-3) та ільменітовим (марка АНО-6) покриттям. Ці електроди придатні для зварювання змінним і постійним струмом і користуються найбільшим попитом завдяки високим зварювальним властивостям, щільності швів при високій вологості покриття, можливості зварювання металу зі слідами іржі та забруднень. З електродами рутилітового та ільменітового покриття легко працювати зварникам 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 ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено і налагоджено виробництво нового покоління ошадливолегованих електродів, призначених для ручного електродугового зварювання конструкцій з високоміцних сталей. Електроди АНП-9, АНП-10, АНП-11, АНП-12 підвищують межу витривалості стикових з'єднань у 1,5–1,7 рази, таврових — у 2 рази порівняно з електродами УОНИ-13/55, АНП-2.

Створені нові універсальні електроди з рутил-целюлозним покриттям АНО-36 і з рутиловим покриттям АНО-37, які відповідають типу Э46 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 японськими електродами LB-52U.

Для зварювання монель-металу та біметалу (вуглецева 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 низьколегованих сталей?
2. Які електроди застосовують для зварювання кольорових 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 низьковуглецевих і низьколегованих сталей марок УОНИ-13/45 і УОНИ-13/55. Зварювання електродами з покриттям УОНИ виконують на

постійному струмі зворотної полярності. Ці електроди використовують у випадках, коли не виконується механічна обробка зварюваного виробу. Електроди мають сталевий стрижень з низьковуглецевого зварювального дроту Св-08 або Св-08А і покриття, до складу якого входять графіт, феросиліцій, карборунд, крейда, плавиковий 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 входить 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 графітизованими елементами.

Для виправлення дефектів чавунних деталей використовують електроди марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-4, ЕПЧ із чавунними прутками марок А і Б. Прутки марок А використовують при газовому зварюванні і для стрижнів електродів при гарячому зварюванні, марки Б — для стрижнів електродів при холодному і гарячому зварюванні чавуну. Діаметр прутків становить 4 мм, 6, 8, 10 і 12 мм, довжина — 250 мм, 350, 450 мм. До складу покриття входять стабілізуючі, шлакоутворюючі й легуючі компоненти. Чавунними електродами зварюють тільки в нижньому положенні на постійному й змінному струмі. У металі шва спостерігається відбілювання 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 обгортають сталевую низьковуглецевою 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 легованого дроту марки 0Х18Н9, які покриті мідною оболонкою. На стрижні мідних електродів наносять крейдове покриття. Замість сталеві стрічки можуть використовуватися спеціальні покриття, які містять титанову руду, феросиліцій, порошок алюміній, графіт, мармур і плавиковий 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 монель-металу (28% міді, 2,5 заліза, 1,5% марганцю, решта — нікель) або з константанового дроту (40% нікелю, 1,5% марганцю,

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

При дуговому зварюванні вугільним електродом використовують присаджувальні прутки марки А і Б та флюси на основі бури, натрію, калію й 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 прутками 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 ІІ СПЛАВІВ

Ручне дугове зварювання міді та її сплавів виконують металевими або вугільними електродами. Для зварювання плавкими електродами використовують електроди марок «Комсомолец-100», АНЦ/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 плавикового шпату, марганцевої руди, польового шпату, срібного графіту, феросиліцію, феромарганцю і порошкового алюмінію. Зварювання ведуть на постійному струмі зворотної полярності.

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

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

тям основного виду з великим вмістом розкиснювачів — алюмінію, графіту та ін. При зварюванні латуні вугільним електродом служать прутки марок ЛК62-0,5; ЛМц40-4,5; ЛК80-3; Бр.ОМцА8-0,7-0,7 і флюси, що використовуються для зварювання міді.

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

### Контрольні запитання та завдання

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

## 6.11. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Алюміній і його сплави зварюють за допомогою ручного дугового, 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-АМг3, Св-АМг4,

Св-АМг5 (алюмінієво-магнієвий), Св-АК5, Св-АК10 (алюмінієво-кремністий), Св-1201 (алюмінієво-мідний). При зварюванні вугільним електродом крім того використовують спеціальні флюси, які складаються з хлористих натрію, калію, літію, фтористих натрію і калію, сірчаноокислого калію та кріоліту. Неплавкі електроди для аргонодугового зварювання алюмінію виготовляють з вольфраму (ВЧ), із добавками торію (ВТ-15), лантану (ВЛ-10), ітрію (ВИ). В якості захисних газів використовують інертні гази — аргон, гелій та їх суміші. Мікроплазмове зварювання виконують електродами 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 розбризування, погане відокремлення шлаку, високу гігроскопічність покриття, необхідність підігріву металу й низьку якість шва вони не відповідають сучасним вимогам.

В Інституті електрозварювання ім. Є. 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 електродах в якості зв'язуючої речовини використовують рідке скло (водний розчин силікату натрію або калію), яке під впливом розчинних хлоридів і фторидів лужних і лужноземельних металів втрачає зв'язуючі властивості. Тому в нових електродах використовують зв'язуючу речовину, сумісну 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 водонепроникній упаковці. Час між просушуванням і зварюванням не повинен перевищувати 24 год.

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності. Краще зварюються стикові шви, а таврові, кутові й внапуск застосовують менше через те, що можливе затікання шлаку в зазори, 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 шкірки та високі 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.

## Контрольні запитання та завдання

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

### 6.12. УМОВИ ЗБЕРІГАННЯ Й ПІДГОТОВКА ДО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

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

Найвагомішими факторами, які можуть погіршувати якість електродів, є:

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

Унаслідок недбалого користування електродами їх покриття може зруйнуватися. Особливо небезпечні відколи покриття на торці електрода, які в момент запалювання дуги викликають утворення «стартової» пористості шва. У процесі зварювання пошкоджене покриття може відокремлюватися від стрижня, чим погіршує горіння дуги, викликає утворення пор і шлакових включень. Міцність покриття електродів зменшується при збільшенні їх діаметра і товщини покриття. Електроди з механічним пошкодженням покриття основного виду на практиці вибраковують, 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. Основним джерелом вологи є поглинання її з навколишнього середовища, залишки вологи після термообробки і волога зв'язуючої речовини (рідкого скла). Вміст вологи в покритті залежить від призначення електрода, виду покриття, термообробки і становить від 0,1 до 2% (допустимий вміст вологи в покритті вказують на етикетці даної марки електрода). Найчутливішими до поглинання вологи є електроди з основним видом покриття, а з рутиловим, кислим і змішаним — менше чутливі (вміст вологи 0,5–0,9%). В електродах із целюлозним покриттям вологість повинна становити 1,0–2,0%, а нижча може призвести до появи пор і розбризування металу.

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

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

Особливо відповідальною операцією з підготовки електродів до зварювання є просушування, яке слід виконувати відповідно до режимів, указаних на етикетках. Просушують електроди в електропечах, які підключають до вентиляції, а при її відсутності — відкривають двері печі, щоб забезпечити видалення утвореної пари. Температуру просушування вище  $400\text{--}420^{\circ}\text{C}$  встановлювати не рекомендується через можливість втрати механічної міцності покриття і порушення металургійних характеристик електродів. Електроди можна просушувати 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 (термопеналах) при температурі  $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$  (незалежно від виду покриття). Для просушування електродів використовують сушильні шафи типу СНО, ЭОС, СНОЛ та електротермічні печі СНОП, які засто-

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

Перед зварюванням перевіряють стан поверхні електродів: відсутність тріщин, здуття, напливів, відколів, концентричність 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. Захисна оболонка покриття зварювальних електродів

Збереження якості зварювальних електродів після їх виготовлення є проблемою. Гігроскопічність, забрудненість, пошкодження обмазки в процесі транспортування, зберігання й споживання не дозволяє 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, кальцинованої соди, сиккатива ИСК-1, крейди ММС-1 та інших компонентів, які забезпечують захист поверхні обмазки і не перешкоджають нормальному горінню дуги. При цьому міцність покриття становить 200%. Тривалі випробування на збереженість покриття із захисною оболонкою від вологи (витримка 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 присаджувальний 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 вмикання зварювального струму, а припиняти після вимикання та охолодження електрода до його потемніння. Коли зварюють на постійному струмові всі електроди заточують на конус, а коли використовують змінний — електроди марок ЭВИ і ЭВЛ повинні мати плоску заточку, електроди марки ЭВЧ — сферичну. Довжина заточування 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 високотемпічної обробки — графітизації. Такі електроди мають високі температури плавлення й кипіння та малу теплопровідність. Електропровідність графітових електродів у 3 рази вища вугільних, вища стійкість проти окиснення, менші витрати. Для підвищення

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

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

### 6.13.1. Підготовка вольфрамових електродів до зварювання

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

Відновлення геометрії форми наконечника електрода є обов'язковою для забезпечення якісного зварювання. Цього досягають шляхом ручного або механічного шліфування кінця електрода. При ручному шліфуванні не вдається забезпечити стабільну та оптимальну геометрію кінця електрода. Будь-яке відхилення від оптимальної форми має негативний вплив на якість шва. 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 електрода треба, щоб чистота поверхні дорівнювала 0,5R<sub>a</sub>. В електродах, шліфованих перпендикулярно до осі, або коли чистота їх поверхні більша 0,5R<sub>a</sub>, струм протікає нестабільно, що викликає загоряння дуги поза наконечником, її блукання, зменшення терміну служби електрода.

### Контрольні запитання та завдання

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

## 6.14. ЗАХИСНІ ГАЗИ ТА ЇХ СУМІШІ

Захисні газы прызначаны для захісту зварювальнай дузі й ванні від шкідлівага впливу наваколішняга сярэдовиша. В якасці захісных газів выкарыстоўваюць інертны та актывны газы, а такж іх сумішы.

До **інертных захісных газів** відносяцца аргон і гелій. Хімічна воні не ўзаемадзейнічаюць з металом і не рэагуюць у ньому та забяспечваюць захіст дузі й металу шва від повіт'я.

**Аргон** є аднаатомным інертным газом, без колёру та запаху, важчый за повіт'я, чым забяспечуе надійны захіст зварной ванні. Залежна від домішок (кисень, азот, вадень) він паділяецца на такі сорты:

— аргон газоподібны і рідкы (ГОСТ10157-79) — вышчага сорту (не менше 99,992% Ar) та першага сорту (99,987% Ar) для плазмовага рэзаньня і зварювання плавкым і неплавкым электродом;

— аргон высокай чыстаты (ТУ6-21-12-79) — рідкы першага сорту (99,998% Ar), рідкы другога сорту (99,995% Ar) і газоподібны (99,995% Ar).

Аргон вышчага сорту выкарыстоўваецца для зварювання титанавых сплаваў, цырконію, молібдену та іншых актывных металів і сплаваў, а такж для зварювання асабліва відповідальных выробів із нержавіючых сталей. Аргон першага сорту прызначаны для зварювання алюмініевых і магнезевых сплаваў; другога сорту — для зварювання выробів із чыстага алюмінію, нержавіючых і жароміцных сплаваў.

Зберігаюць і транспартуюць аргон у сталевых суцільнацягнутых балонах у газоподібным стане під тискам 15 МПа (150 кгс/см<sup>2</sup>). У поўным стандартным балоні місткістю 40 дм<sup>3</sup> (л) знаходзіцца:  $150 \times 40 = 6000$  дм<sup>3</sup> (6 м<sup>3</sup>) газу. Колір балона сіры, а напіс — зеляны.

**Гелій** — інертны газ без колёру й запаху, значна легшы за повіт'я і в 10 разоў — від аргону. Одержуюць гелій шляхам стиснення і ахалоджэння прыродных газів до тэмператур кандэнсацыі з наступным відокремленнем домішок. Дуга, што горыць у гелію, віділяе большае тэпла, ніж в аргоні, чым забяспечуе глыбокае праплавленне металу. Оскількі гелій в 10 разоў легшы за аргон, пагіршаецца захіст зварной ванні і в 1,5–2 разы збільшваюцца вытраты.

Залежна від вмісту домішок (азот, кисень, вуглекіслы газ) гелій газоподібны (ГОСТ 20461-75) паділяецца на такі сорты:

- асаблівай чыстаты (не менше 99,995% He);
- высокай чыстаты (99,985% He);
- тэхнічны (99,8% He).

Гелій выкарыстоўваюць пры зварюванні колёровых металів і сплаваў, нержавіючых сталей.

Зберігаюць і транспартуюць гелій так само як і аргон. Колір балона карычневы, а напіс — білы.

До **актывных захісных газів** відносяцца вуглекіслы газ, азот, вадень та ін. Воні хімічна ўзаемадзейнічаюць із зварюваным матэрыялам і рэагуюць в ньому.

**Вуглекіслы газ** (CO<sub>2</sub>) є безколёрны з незначным запахам. Пры павышэнні тэску він перетвораецца в рідыну, яку называюць вуглекіслатаю, а пры сільным ахалоджэнні (ніжча –78,9°C) пераходзіць у твёрды стан, які называюць «сухы лід». Вуглекіслы газ в 1,5 разы важчый за повіт'я, што забяспечуе надійны захіст зварной ванні пры незначных вытраты.

Газ одержуюць із вапняків, коксу, антрацыту метадом выпалювання в спецыяльных печах із прыроднага й котельных газів та іншымі спосабамі. Густына рідкай вуглекіслаты сільна змяняецца пры змяненні тэмпературы і таму вуглекіслата пастацаецца за масою, а не за аб'ёмом. Пры выпаровуванні 1 кг вуглекіслаты утвораецца 509 дм<sup>3</sup> (л) вуглекіслага газу.

Выпускаюць двоокіс вугляцо газоподібны і рідкы (ГОСТ 8050-85) такых серій:

- зварювальны (не менше 99,5% CO<sub>2</sub>);
- зварювальны павышэнай якасці (99,8% CO<sub>2</sub>);
- тэхнічны (98,5% CO<sub>2</sub>).

Зварювальны (просушаны) вуглекіслы газ відразняецца від тэхнічнага меншым вмістам вологи.

Рідку вуглекіслату зберігаюць у балонах під тискам 6–7 МПа. У балоні знаходзіцца 60–80% рідыны, а рэшта — газ, што выпаруваецца. Колір балона чорны, а напіс — жоўты. В балоні місткістю 40 л залываюць 25 л вуглекіслаты, пры выпаровуванні якой утвораецца 15 120 л газу. Зварювальную вуглекіслату забароняецца залываць в балоні з-під харчовай і тэхнічнай вуглекіслаты таму, што воні могуць маты павышэную кількість пары ваді. Выкарыстоўваюць вуглекіслату до тэску в балоні не менше 0,4 МПа.

Під час выкарыстання вуглекіслаты могуць вынікнуць перапады тэску, што прыводзіць до утвораення «сухага льоду». Для запобігання цьому явішчу між балонам і рэдуктарам устанавляюць пдгрівач.

У балонах із вуглекіслым газом не повинна быць вода, але чэрз дэфіцыт зварювальнай вуглекіслаты першага сорту, застасовуюць газ другога сорту і харчовы. Павышаны вміст вадяной пары у вуглекіслому газі прыводзіць до утвораення пар і зніжэння пластывнасці зварнага з'яднання. Таму рэкамендуюць перад выкарыстаннем новы балон встанавіць вентылем вніз на 8 год, а потім відкрыць його в такому палажэнні й выпускаць воду до паяві «сухага льоду». Для зніжэння вмісту вологи та паглынання тэплоты пры выпаровуванні вуглекіслага газу на выхаді з балона встанавляюць пдгрівачі.

**Азот** — газ без кольору й запаху, при температурі  $-196^{\circ}\text{C}$  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%  $\text{N}_2$ ); технічний газоподібний вищого сорту (99,994%  $\text{N}_2$ ); технічний газоподібний і рідкий першого сорту (99,5%  $\text{N}_2$ ); технічний газоподібний і рідкий другого сорту (99,0%  $\text{N}_2$ ); технічний газоподібний і рідкий третього сорту (97,0%  $\text{N}_2$ );

— азот газоподібний і рідкий технічний, підвищеної чистоти: сорт 1 (99,99%  $\text{N}_2$ ); сорт 2 (99,95%  $\text{N}_2$ ).

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%  $\text{H}$ );
- Б — сорт вищий (99,95%  $\text{H}$ ), сорт 1 (99,8%  $\text{H}$ );
- В — сорт вищий (98,5%  $\text{H}$ ), сорт 1 (97,5%  $\text{H}$ ), сорт 2 (95,0%  $\text{H}$ ).

Колір балону темно-зелений, напис — червоний.

У деяких випадках кращі технологічні властивості мають **суміші газів**. Суміш з 70%  $\text{He}$  і 30%  $\text{Ar}$  збільшує продуктивність зварювання алюмінію, покращує формування шва, дозволяє наплавлювати більший шар металу. Суміш вуглекислоти з киснем (2–5%) сприяє дрібнокраплинному перенесенню металу, покращує формування шва, зменшує розбризування на 30–40%. Аргонно-азотна суміш (86–88%  $\text{Ar}$ ) покращує плазмове різання, а аргонно-киснева (79–77%  $\text{Ar}$ ) сприяє кращому зварюванню плавким електродом сплавів у сильноокиснювальній атмосфері. Домішки вуглекислоти або кисню до аргону сприяють утворенню струминного перенесення металу в дузі, зменшуючи при цьому розбризування 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 впроваджений випуск готової газової суміші марки АГАМИКС, яка зменшує розбризування електродного металу на 5–10%, покращує формування металу шва і робить процес зварювання менше чутливим до коливань напруги та швидкості подачі дроту.

## Контрольні запитання та завдання

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

## 6.15. ЗВАРЮВАЛЬНІ ФЛЮСИ

Спосіб зварювання під флюсом виник у середині 30-х років ХХ ст. Спочатку флюси використовували для зварювання вуглецевих сталей, легованих марганцем і кремнієм, а також як засіб для механічного захисту дуги від впливу зовнішнього середовища. З розвитком металургії, створенням легованих сталей виникла необхідність легування металу зварювальної ванни, що зумовило появу флюсів, які здатні здійснювати металургійний вплив на зварювальну ванну. З появою висококомірних низьколегованих 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 електрошлакових 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 застигання;
- розкиснення металу шва;
- легування металу шва;
- зменшення витрат електродного металу на вигорання і розбризування.

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

*будовою зерен* плавлені флюси поділяються на склоподібні і пемзоподібні. Склоподібні флюси — це прозорі зерна різних відтінків, які одержують вливанням рідкого флюсу при температурі 1200°C у бак з проточною водою. Пемзоподібні флюси — це зерна пінистого матеріалу різних відтінків, які одержують при вливанні рідкого флюсу, нагрітого до температури 1600°C, у воду. При цьому пара води спішно розплавлену масу, утворюючи пемзоподібний флюс. Розмір зерен — від 0,2 до 4 мм. Краще формування шва спостерігається при використанні пемзоподібних флюсів, а кращий захист зварної ванни забезпечує склоподібний флюс. Перевагою плавлених флюсів є надійний захист зварної ванни, якісне формування шва, легке відокремлення шлаку, низька вартість. Зберігають флюси в сухих приміщеннях у паперових мішках.

**Неплавлений флюс** одержують механічним змішуванням тонкоподрібнених мінералів, феросплавів, силікатів, зв'язаних рідким склом без сплавлювання. Широко використовують неплавлені керамічні флюси.

Керамічні флюси одержують шляхом змішування компонентів із рідким склом і наступним протиранням 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 іржі, окалини. Керамічні флюси дуже гігроскопічні, тому їх зберігають у герметичних упаковках і жорсткій тарі (через низьку міцність зерен).

За хімічним складом флюси поділяються на оксидні, солеві й солеоксидні. 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 активних металів. Солеоксидні флюси складаються з фторидів й оксидів металів і використовують для зварювання легованих сталей.

За призначенням флюси поділяються на групи:

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

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

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

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

Для зварювання кольорових металів і сплавів застосовують флюси наступних марок:

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

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

До окремої групи входять флюси для газового зварювання й зварювання вугільним електродом, які розчиняють оксиди та 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 виходять на поверхню шва. З флюсами зварюють чавуни, 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;
- шлаки повинні добре відокремлюватися від шва після зварювання;

— густина флюсу має бути меншою від густини основного й присаджувального металу, щоб шлак добре спливав на поверхню ванни і не залишався в металі шва.

Склад флюсу вибирають залежно від властивостей зварюваного металу.

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



При зварюванні чавуну утворюється кислий оксид  $\text{SiO}_2$ , для розчинення якого вводять основні оксиди —  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . В якості основних флюсів застосовують вуглекислий натрій ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), вуглекислий калій ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) і буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).

При зварюванні міді, латуні утворюються основні оксиди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{FeO}$  та ін.), тому для їх розчинення вводять кислі флюси (сплуки бору).

### Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення флюсів для механізованого зварювання?
2. Які є види зварювальних флюсів?
3. Чим відрізняються флюси для механізованого зварювання від флюсів, які використовуються при газовому й дуговому зварюванні 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 нетвердіючі;
- пресовані у вигляді таблеток, шашок, в оболонках і без оболонки;
- ущільнені в горючих і негорючих оболонках;
- насипні для тигельного зварювання.

Застосування термітних стрижнів системи залізо-сталь наштовхується 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 гільзи 2, всередині якої розміщена екзотермічна суміш 3 і запальвальна головка 1. З протилежного боку, на відстані 0,1–0,2 довжини гільзи від торця, встановлений пиж 4, що розділяє екзотермічну суміш від порожнини 5, в яку вставляється тримач.

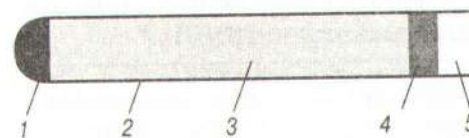


Рис. 6.5. Зварювальний олівець: 1 — запальвальна головка; 2 — гільза, 3 — екзотермічна суміш; 4 — пиж; 5 — порожнина для вставляння тримача

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

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

Таблиця 6.6

### Відповідність діаметра олівця і товщини зварюваного металу

Товщина зварюваного металу, мм	Діаметр олівця, мм	
	при стиковому з'єднанні	при з'єднанні 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. Різучі олівці мають циліндричну горючу оболонку, яка містить ущільнену технологічну екзотермічну суміш. У процесі горіння виникає висока температура, а застосування спеціальних присадок полегшує руйнування поверхневого шару розрізаного металу. Термін зберігання різучого олівця при температурі від 5 до 25°C і відносній вологості 60% дорівнює 2 роки; температура горіння — 3000°C, а час горіння олівця довжиною 200 мм —  $5 \pm 4$  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 вуглецевих 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 заварювання тріщин у корпусних конструкціях із чавуну при товщині стінки до 7 мм. Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ» вказані в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

**Характеристики термічних олівців «ОКСАЛ»**

Марка	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 порожнисту частину олівця вставляють дерев'яний тримач довжиною 150–200 мм. Олівець запалюється сірником. У процесі паяння-зварювання торець олівця повинен знаходитись на відстані 3–10 мм від поверхні основного металу. Швидкість переміщення олівця вибирають так, щоб забезпечити рівномірне формування шва.

Роботу з олівцем виконують на відкритому повітрі або з використанням вентиляції. Для захисту очей застосовують затемнені 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 перекантовування 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 малогабаритні, переносні підкладки, що застосовуються в одиничному виробництві та при ремонтах.

Для зварювання односторонніх стикових швів використовуються підкладні матеріали таких типів:

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

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

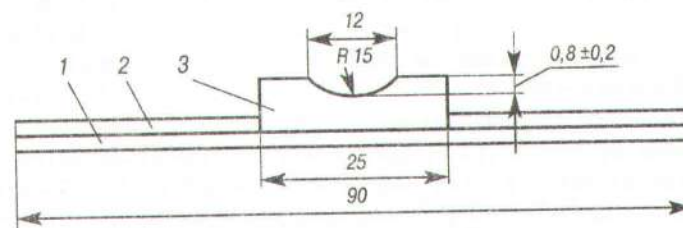


Рис. 6.6. Поперечний переріз клеючої підкладки:

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

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

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

ГПЛ-1,1; ГПЛ-1,2; ГПЛ-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 кращого 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°C. Флюс-паста повністю підміняє 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-пасти?
4. Що забезпечує використання підкладних матеріалів у стикових з'єднаннях?
5. Яка будова клеючої підкладки?
6. З чого складається флюс-паста?
7. Назвіть способи кріплення підкладних матеріалів.

## ТЕХНОЛОГІЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

### 7.1. ПІДГОТОВКА ТА СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

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

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

Деталі з вм'ятинами, випинами, хвилястістю, жолобленнями та викривленнями обов'язково випрямляють. Листовий, сортовий прокат випрямляють у холодному стані ручним і машинним способом. Сильно деформований метал випрямляють у гарячому стані. Для випрямлення застосовують молотки, преси, правильні машини.

Для перенесення розмірів деталі з креслення на метал використовують розмічання. При цьому користуються інструментами: лінійкою, кутником, циркулем, рисувалкою, шаблонами. В процесі розмічання необхідно враховувати укорочення заготовок при зварюванні. Тому передбачають припуск з розрахунку 1 мм на кожний поперечний стик 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 розчищення кромки показані на рис. 7.1.

- Під зварювання деталі складають за такими способами:
- повне складання 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 напямної бази — найдовшу поверхню; опорною базою вважають поверхню будь-яких

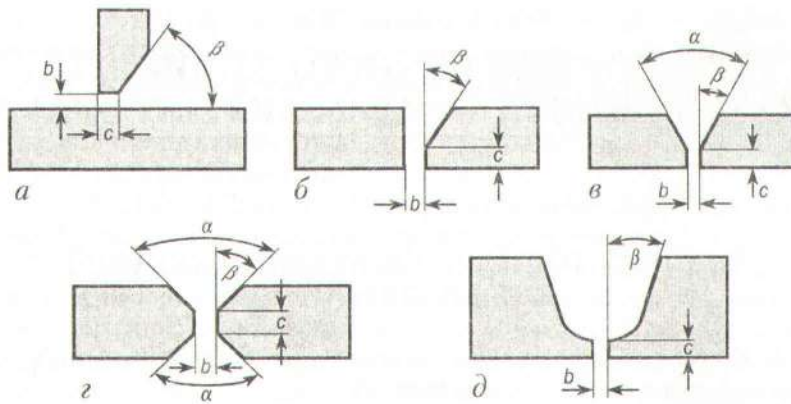


Рис. 7.1. Конструктивні елементи розчищення кромки:

*a* — розчищення однієї кромки в кутовому з'єднанні; *б* — розчищення однієї кромки в стиковому з'єднанні; *в* — V-подібне розчищення кромки в стиковому з'єднанні; *г* — X-подібне розчищення кромки у стиковому з'єднанні; *д* — U-подібне розчищення кромки у стиковому з'єднанні;  $\alpha$  — кут розчищення кромки (60–90°);  $\beta$  — кут скосу кромки (30–50°); *b* — зазор (1–4 мм); *c* — притуплення кромки (1–3 мм)

розмірів у нормальному стані й постійної форми (відсутність рубців, швів, задирок). Для циліндричних деталей вибирають подвійну напрямну базу — призми. 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 зварної конструкції.

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

- універсальний клиновий затискач для монтажної складання циліндричних і конічних конструкцій (1);
- ручна клинова скоба для складання листового і профільного металу (2);
- ручна пружинна скоба для складання профільного металу (3);
- гвинтова струбцина 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 прихватна з ломом для конструкцій, які складаються внапуск у монтажних умовах (7);
- гребінка на прихватках для складання крупних листових конструкцій (8);
- прихватні шайби з планками і клинами для складання листових конструкцій (9);

- гвинтовий стягувач для складання конструкцій з листового, штабового та профільного металу (10);
- стягувальне кільце для складання циліндрів і трубопроводів великого діаметра (11);
- гнучкий хомут з ексцентриковим затискачем для складання поздовжніх швів циліндричних деталей (12);
- гвинтовий розпірно-стягувальний пристрій для складання листових конструкцій і плоскостійних виробів (13);
- гак із ломом для зближення кромки при монтажній складанні крупних листових конструкцій (14);
- гвинтовий розпір для складання циліндричних деталей (15);
- клиновий розпір 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 постах (19).

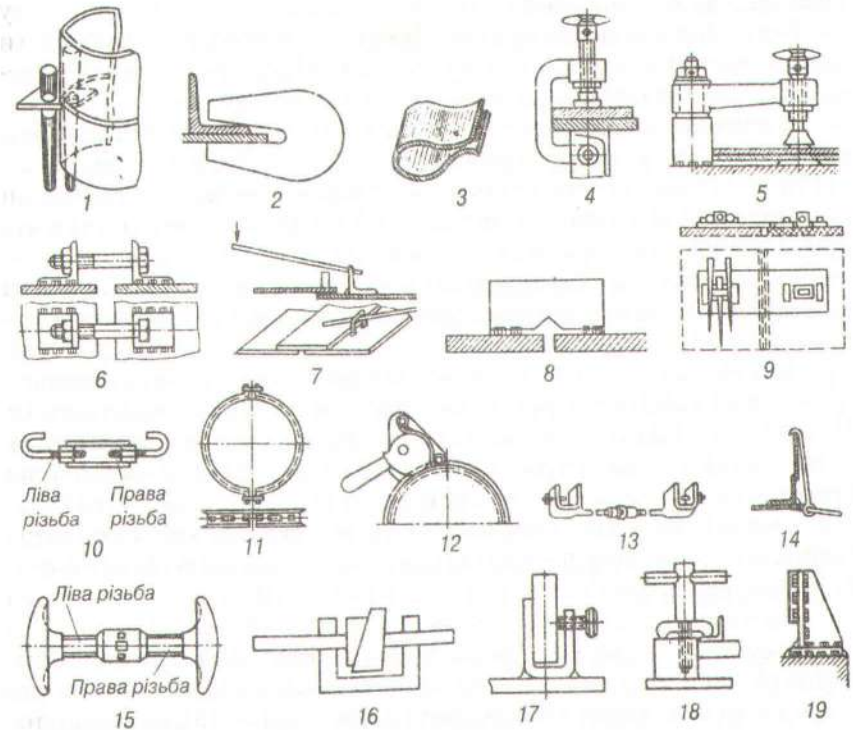


Рис. 7.2. Складально-зварні пристосування

Складені деталі з'єднують прихватками. Залежність довжини прихваток і відстані між ними від товщини металу й довжини шва вказані в табл. 7.1. Накладання прихваток необхідне для того, щоб положення деталей і зазор між ними були постійними в процесі зварювання. Прихватки 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 прихватками, мм	50–100	300–500

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

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

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

Прихватки перешкоджають переміщенню деталей при нагріванні, що може викликати появу тріщин у прихватках під час охолодження. Чим більша товщина основного металу, тим більша розтягуюча усадка в прихватках і можлива поява тріщин. Тому прихватки застосовують для деталей невеликої товщини (до 6–8 мм). При більшій товщині листів рухливість деталей забезпечують за допомогою гребінок (еластичних прихваток) або складають виріб 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 однакової товщини. Конструктивні елементи підготовлених кромок і розміри зварного шва вибирають за більшою товщиною.

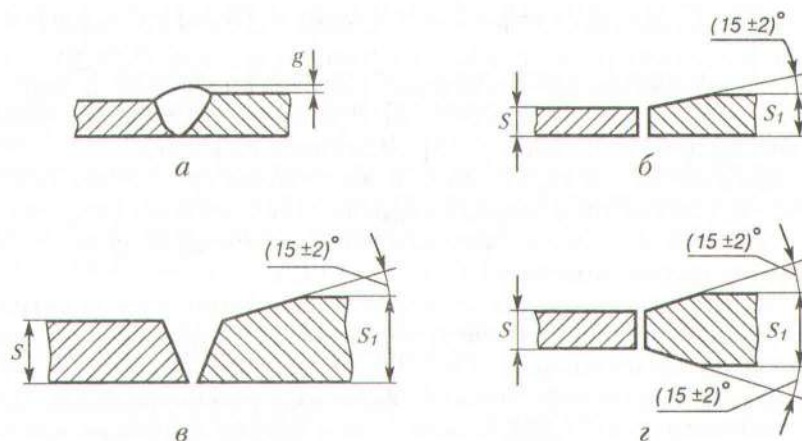


Рис. 7.3. Підготовка кромок деталей різної товщини

Таблиця 7.2

**Допустима різниця між товщиною зварюваних деталей**

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

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

Якщо різниця в товщині зварюваних деталей більша вказаних у 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 зміщення зварюваних кромок не більше:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Контрольні запитання та завдання



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

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




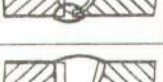


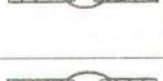




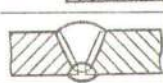


ГОСТ 5264-80 «Ручне дугове зварювання. Зварні з'єднання» встановлює основні типи, конструктивні елементи та розміри зварних з'єднань із сталей, а також сплавів на залізонікелевій і нікелевій основах, виконаних ручним дуговим зварюванням. Стандарт не поширюється на зварні з'єднання сталевих трубопроводів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

Таблиця 7.3

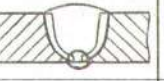
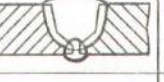



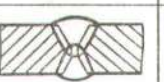

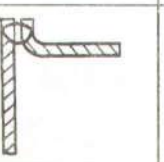
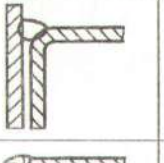
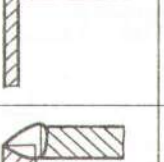
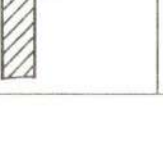
Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80)

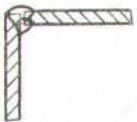
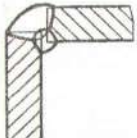
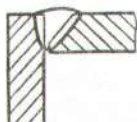
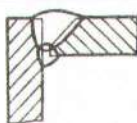
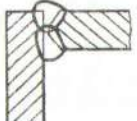
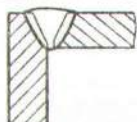

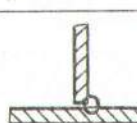
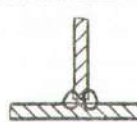
Форма поперечного перерізу зварного шва	Умовне позначення з'єднання	Товщина зварюваних деталей, мм	Тип з'єднання	Форма підготовлених кромок	Характер зварного шва
1	2	3	4	5	6
	C 1	1-4	Стикове	З відбортовкою кромок	Однобічний
	C 28	1-12	Стикове	З відбортовкою кромок	Однобічний
	C 3	1-4	Стикове	З відбортовкою однієї кромки	Однобічний
	C 2	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний
	C 4	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний на знімній підкладці
	C 5	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний на підкладці, що залишається
	C 6	1-4	Стикове	Без скосу кромок	Однобічний замковий
	C 7	2-5	Стикове	Без скосу кромок	Двобічний
	C 42	6-12	Стикове	Без скосу кромок із наступним струганням	Двобічний
	C 8	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний
	C 9	3-60	Стикове	Із скосом однієї кромки	Однобічний на знімній підкладці


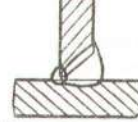
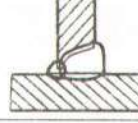
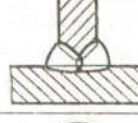
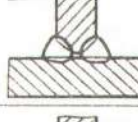
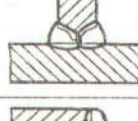
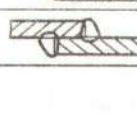
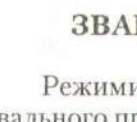
Продовження таблиці 7.3

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

Продовження таблиці 7.3

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

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

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
	Н 1	2-60	Внапуск	Без скосу кромки	Однобічний
	Н 2	2-60	Внапуск	Без скосу кромки	Двобічний

### 7.3. РЕЖИМИ РУЧНОГО ДУТОВОГО 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 дузі, рід і полярність зварювального струму, швидкість зварювання, розташування шва у просторі, попередній підігрів і наступна термічна обробка.

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

Таблиця 7.4

**Вибір діаметра електрода залежно від товщини металу**

Товщина зварюваного металу, мм	1,5	2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16-20
Діаметр електрода, мм	1,6	2	3	3-4	4	4-5	5	5 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 заварюють електродом діаметром 3-4 мм, а наступні шви — електродами більшого діаметра. При цьому площа поперечного перерізу першого шару (проходу) не повинна перевищувати 30-35 мм<sup>2</sup>. Площу можна визначити за формулою:

$$F_1 = (6 \div 8) d_e,$$

де  $F_1$  — площа поперечного перерізу першого шару (проходу), мм<sup>2</sup>;  $d_e$  — діаметр електрода, мм.

Площа поперечного перерізу наступних шарів (проходів) може бути збільшена і визначається за формулою:

$$F_u = (8 \div 12) d_e,$$

де  $F_u$  — площа поперечного перерізу наступних шарів, мм<sup>2</sup>.

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

$$n = \frac{F_p - F_1}{F_u} + 1,$$

де  $F_p$  — площа поперечного перерізу розчищених кромок, мм<sup>2</sup>;  $n$  — кількість шарів (проходів).

Зварювальний струм устанавлюється 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).

Таблиця 7.5

**Значення коефіцієнта пропорційності залежно від діаметра електрода**

Діаметр електрода, ( $d_e$ ), мм	1-2	3-4	5-6
Коефіцієнт пропорційності ( $K$ ), А/мм	25-30	30-45	45-60

Для підбору сили зварювального струму можна використати децю 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 менша  $1,5 d_e$  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 електродами силу струму необхідно встановлювати відповідно з даними, вказаними в паспортах або сертифікатах на ці електроди.

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

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

де  $e$  — ширина шва, мм.

Горіння дуги повинне бути стійким при незначному розбризуванні рідкого металу.

Відносно малий зварювальний струм призводить до нестійкого горіння дуги, непровару, низької продуктивності, а надмірно великий струм — до сильного нагрівання електрода, збільшення швидкості плавлення електрода і непровару, підвищеного розбризування 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.

Напруга на дузі прямо залежить від довжини дуги і становить 16–40 В. Зварювати слід коротшою дугою з напругою 16–20 В. Нормальною вважається дуга довжиною  $(0,5 \div 1,1) d_e$ , залежно від типу і марки електрода і положення зварювання у просторі.

Рід струму й полярність установлюють залежно від зварюваного металу і його товщини. При зварюванні звичайних вуглецевих сталей застосовують змінний струм, як дешевший порівняно з постійним. Застосовуючи постійний струм, установлюють пряму або зворотну полярність. На прямій полярності зварюють товсті метали, тому що на основному металі виділяється більше тепла.

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

Швидкість зварювання встановлюється залежно від вибраного способу зварювання, властивостей основного металу, характеристики електрода тощо.

Для уникнення перегрівання металу високолеговані сталі зварюють на більших швидкостях, ніж звичайні низьковуглецеві і низьколеговані.

Швидкість переміщення електрода встановлює зварник.

Розташування шва у просторі має велике значення при виборі основних режимів зварювання. Ручне дугове зварювання використовують у всіх просторових положеннях шва. Найзручнішим є нижнє положення, яке забезпечує високу якість зварного шва.

Попередній підігрів і наступна термічна обробка призначені для зварювання середньо- і високовуглецевих сталей, схильних до утворення гартованих структур, чавунів, кольорових металів та їх сплавів. Температура й способи підігріву та термічної обробки залежать від хімічного складу, товщини й розмірів виробу.

### Контрольні запитання та завдання

1. Що називають режимом зварювання?
2. Охарактеризуйте режими ручного дугового зварювання покритими електродами.
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 глибину провару, що пояснюється збільшенням тиску дуги. При цьому 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 наскрізного проплавлення. Напрямок тиску дуги можна змінювати нахилом електрода до виробу. При зварюванні кутом уперед зменшується глибина провару і збільшується ширина шва, а при зварюванні кутом назад провар збільшується і зменшується ширина шва. Коли зварювання ведуть на підйом, то збільшується глибина провару й зменшується ширина шва, а при зварюванні на спуск — навпаки.

Напруга дуги мало впливає на глибину провару, 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 режими 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 запалюватися;
- стійко горіти;
- 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 газового проміжку і виникає зварювальна дуга. Для цього зварнику необхідно відвести кінець електрода 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 й прямим відривом електрода після короткого замикання, а також чирканням — рухом кінця електрода як сірником. Перший спосіб часто застосовують при зварюванні у вузьких і незручних місцях.

Застосування джерел живлення із стабілізаторами дуги змінного струму (СД-2, СД-3, СД-4), осциляторами (ОСПЗ-300М, УПД-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  $(0,5 \div 1,2) d_e$  ( $d_e$  — діаметр стрижня електрода), залежно від типу і марки електрода та розташування шва у просторі. Збільшення довжини дуги знижує стійкість її горіння, глибину провару,

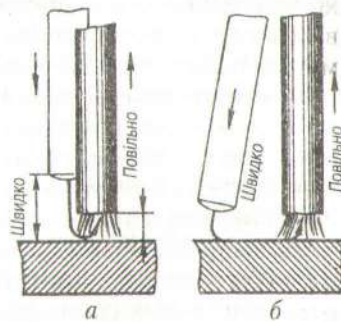


Рис. 7.4. Способи запалювання зварювальної дуги:  
а — впритул; б — чирканням

підвищує розбризкування металу, посилює шкідливий вплив навколишнього середовища, а зменшення довжини дуги призводить до короткого замикання. Вміння підтримувати довжину дуги постійною характеризує кваліфікацію зварника.

Другий рух (2) електрода вздовж осі шва виконується зі швидкістю зварювання. В результаті першого і другого рухів утворюється вузький, шириною  $(0,8 \div 1,5) d_e$ , нитковий шов (валик), який застосовують при виконанні першого шару багатопрорідного шва та при зварюванні тонких металів.

Третій рух (3) — це коливання кінця електрода впоперек шва для утворення валика певної ширини, нормального провару кореня та кромок і уповільнення охолодження зварної ванни. Ширина однопрорідного шва з коливальними рухами має становити  $(2 \div 4) d_e$ . Коливальні рухи електродом впоперек шва визначаються розмірами, формою та розташуванням шва у просторі й 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 пропал металу);

б — півмісяцем, повернутим кінцями до наплавленого шва (для стикових швів зі скосом кромок і для кутових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні);

в — півмісяцем, повернутим кінцями в напрямку зварювання (для стикових швів зі скосом кромок і для кутових із катетом менше 6 мм у будь-якому положенні);

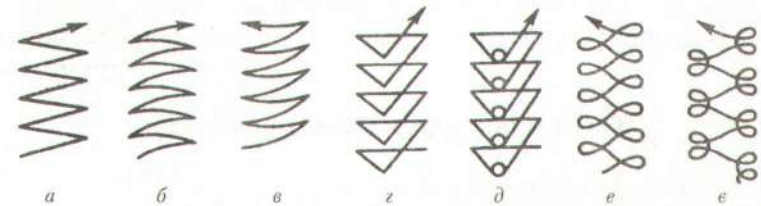


Рис. 7.6. Коливальні рухи кінцем електрода впоперек шва:

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

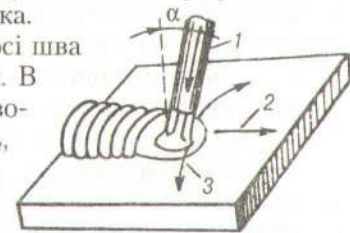


Рис. 7.5. Переміщення електрода у трьох напрямках:

1 — поступальний рух електрода; 2 — рух електрода вздовж осі шва; 3 — коливальні рухи;  $\alpha$  — кут нахилу електрода

$z$  — трикутником (для стикових швів зі скосом кромки у будь-якому положенні та для кутових швів із катетом більше 6 мм);

$d$  — трикутником із затримкою електрода в корені шва (для зварювання товстостінних конструкцій з гарантованим проплавленням кореневої ділянки шва);

$e, \epsilon$  — петлеподібні (для більшого прогріву кромки шва і при зварюванні листів із високолегованих 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 неметалевих 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, розваривши метал кратера, і продовжити процес зварювання. При зварюванні уважно слідкують за розплавленням кромки, кінця електрода, проваром кореня шва та не допускають затікання рідкого шлаку наперед дуги.

В кінці шва не можна відразу обривати дугу і залишати кратер. Це може спричинити появу тріщин через вміст у кратері шкідливих домішок, насамперед сірки й фосфору. Не рекомендується також зварювати кратер декількома обривами і запалюваннями дуги 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 й запалювати дугу на повороті шва не дозволяється.

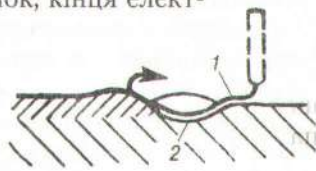


Рис. 7.7. Запалювання дуги після обриву:

1 — місце повторного запалювання; 2 — кратер

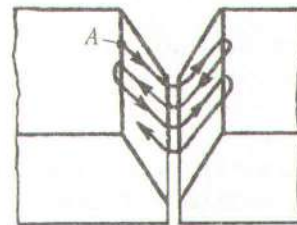
### Контрольні запитання та завдання

1. Як здійснюється запалювання дуги?
2. Які 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 впоперек шва?
7. Що таке нитковий шов?
8. Як визначити довжину дуги?
9. Що називають кратером?
10. Як треба запалювати дугу після її обриву?
11. Де накопичуються неметалеві домішки?
12. Як завершують процес зварювання?

### 7.6. ЗВАРЮВАННЯ СТИКОВИХ ШВІВ У НИЖНЬОМУ ПОЛОЖЕННІ

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



$a$

Рис. 7.8. Зварювання стикових швів:

$a$  — одношарового;  $b$  — багатшарового; 1-7 — послідовність накладання швів



$b$

Листи без скосу кромки товщиною 4–8 мм зварюють двостороннім швом. Тонколистовий метал товщиною до 1–2 мм зварюють із відбортунням кромки або складають без зазору і зварюють на мідній чи сталевій підкладці, що залишається після зварювання. Це дає можливість уникнути наскрізних пропалів.

Метал товщиною понад 8 мм зварюють із розчищенням кромки. Залежно від товщини металу, шви виконують одношаровими, багатшаровими або багатпрохідними. Великий кут розчищення кромки (80–90°) більш зручний для зварника, зменшує небезпеку непровару кореня, але збільшує об'єм наплавленого металу, відповідно зменшує продуктивність і збільшує деформації виробу. Нормальним вважається кут розчищення 60°. Його збільшують до 65° для тонких листів і зменшують до 55° для листів товщиною понад 15 мм. При цьому зазор і притуплення кромки 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 кромки 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 розчищенням кромки. 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 біляшовна зона має дрібнозернисту структуру з підвищеною пластичністю та в'язкістю;

- хімічний склад основного металу близький до хімічного складу наплавленого металу тому, що мала сила зварювального струму сприяє розплавленню незначної кількості основного металу.

Щоб метал достатньо прогрівався і відпалювався, кожний шар шва повинен мати товщину не більше 4–5 мм і не менше 2 мм. При зварюванні з X-подібним скосом кромки металу товщиною 12 мм треба накласти 4–6, а при товщині 40 мм — 10–16 шарів. Двобічні X-подібні шви мають переваги над однібічними V-подібними:

- зменшення деформацій;
- зменшення об'єму наплавленого металу, а значить підвищення продуктивності зварювання;

- можливий непровар у корені шва розташований в нейтральному перерізі, тому менш небезпечний.

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

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

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

діаметром 3 мм. Останніми проходками 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.

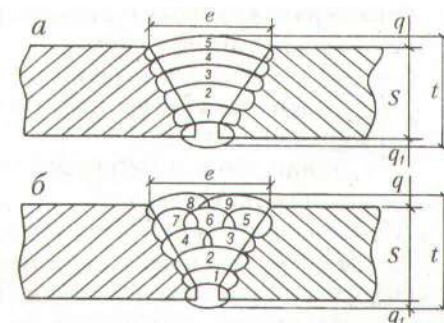


Рис. 7.9. Зварювання багатшарових і багатпрохідних швів із зворотним підварюванням кореня:

*a* — багатшаровий; *b* — багатпрохідний; *e* — ширина шва, *S* — товщина основного металу, *t* — товщина шва, *q* — підсилення шва, *q<sub>1</sub>* — підсилення кореня шва; 1–9 — порядок накладання валиків

Таблиця 7.6

**Орієнтовні режими зварювання стикових швів без скосу кромки**

Товщина металу, мм	Шов	Зазор, мм	Діаметр електрода, мм	Середнє значення сили струму, А	
				нижнє положення шва	вертикальне і стельове положення шва
3–4	Однібічний	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 підварного і декоративного	Діаметр електрода, мм		Середнє значення сили струму, А		
			перший шар	наступні шари	положення шва		
					нижнє	горизонтальне	вертикальне
10	1,5–2,0	2	4	5	180–260	160–220	150–210
12	2,0–2,5	3	4	5	180–260	160–220	150–210
14	2,5–3,0	4	4	5	180–260	160–220	150–210
16	3,0–3,5	5	4	5	180–260	160–220	150–210
18	3,5–4,0	6	5	6	220–320	200–300	180–280

Примітка. Максимальне значення сили струму встановлюється за даними, вказаними в паспортах електродів.

**Зварювання стикових з'єднань на підкладках.** Несучу здатність стикових швів забезпечують:

- провар кромки за перерізом і в корені шва;
- суцільність металу шва (відсутність тріщин, пор, 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 відповідальних виробів, застосовують двосторонні шви з проміжним струганням для видалення кореневої частини першого шару або підкладки (сталеві, мідні, графітові, флюсо-керамічні 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 перед накладанням наступного шару попередній детально зачищають?
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 електродом і «у човник».

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

Для уникнення непровару й підрізів кромки, зварювання «у човник» краще вести електродом, який дозволяє впирання покриття на кромки.

При зварюванні кутових швів похилим електродом (рис. 7.10 а, б) можливий непровар кореня шва і кромки нижнього листа. Щоб уникнути непровару дугу збуджують на нижній полиці у точці А, відступивши від катета шва 3–4 мм. Потім дугу переміщують до вершини шва, де її трохи затримують для кращого провару кореня шва і піднімають догори, 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 поверхні листів і виконувати поперечні коливальні рухи трикутником без затримки або з затримкою в корені шва (рис. 7.11).

Кут нахилу електрода змінюється в процесі зварювання залежно від того, на якій полицці в даний момент горить дуга.

Кутіві шви в нижньому положенні з катетами до 10 мм зварюють в один шар електродами діаметром до 5 мм (інколи без коливальних рухів).

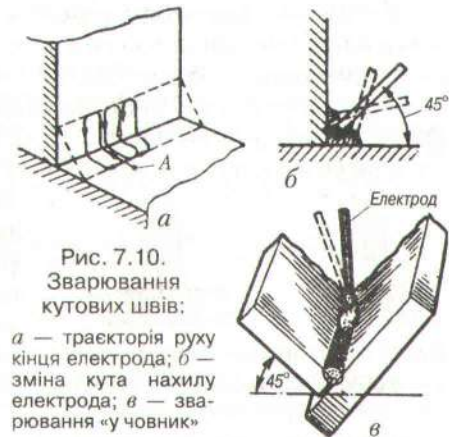


Рис. 7.10. Зварювання кутових швів: а — траєкторія руху кінця електрода; б — зміна кута нахилу електрода; в — зварювання «у човник»

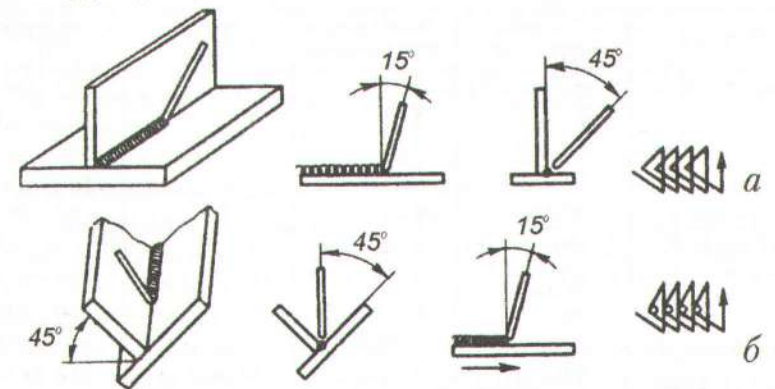


Рис. 7.11. Зварювання кутових швів із коливальними рухами електрода: а — трикутником без затримки в корені шва; б — трикутником із затримкою в корені шва

Кутові шви без скосу кромки із катетами більше 10 мм виконують в один шар, але з поперечними коливальними рухами електрода 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 нитковим швом електродом діаметром 3–4 мм без коливальних рухів.

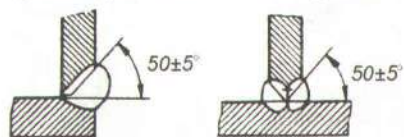


Рис. 7.12. Зварювання кутових швів:  
а — із скосом однієї кромки (однобічний);  
б — із скосом двох кромки (двобічний)

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 проектуванні зварних виробів.

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

Таблиця 7.8

**Орієнтовні режими зварювання кутових швів «у човник» з впиранням 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 заданими, вказаними у паспортях електродів.

**Контрольні запитання та завдання**

1. Назвіть способи зварювання кутових швів.
2. Де збуджують дугу при зварюванні похилим електродом?
3. Чому дугу затримують у вершині шва при зварюванні похилим електродом?
4. Що роблять для кращого проварювання кореня шва при кутовому зварюванні?
5. Чому не можна починати 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 багатошарові багатошарові шви. Багатошаровим називають шов, якщо число шарів рівне числу проходів. Багатошаровим називають шов, якщо деякі шари виконуються за декілька проходів. У стикових з'єднаннях частіше використовують багатошарові шви, а в кутових з'єднаннях — багатошарові багатошарові шви.

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, секціями, каскадним методом, заповненням шва гіркою і застосуванням блочного методу (рис. 7.13).

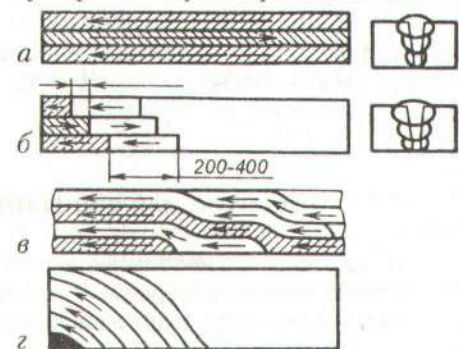


Рис. 7.13. Способи заповнення багатошарових швів:  
а — способом подвійного шару; б — секціями;  
в — каскадом; г — гіркою

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.

Зварювання секціями (рис. 7.13 б) виконують по всій зварюваній товщині ділянками довжиною 200–400 мм. Довжину ділянки підбирають так, щоб метал у корені шва мав температуру не менше 200°C. Кожний наступний валік наплавляється в протилежному напрямку. При цьому метал має високу пластичність і не утворюються тріщини.

При каскадному методі (рис. 7.13 в) весь шов розбивається на короткі ділянки довжиною 200 мм. Зварюють так, щоб після закінчення зварювання першого шару першої ділянки можна було, не зупиняючись, продовжувати виконання першого шару на сусідній ділянці. Тоді кожний наступний шар накладається на неохолоджений попередній шар. Цей спосіб застосовують при товщині металу 20–25 мм і більше.

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

Метод зварювання блоками полягає в тому, що шов за довжиною ділиться на ділянки завдовжки 1 м. Шов 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 товстостісної 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).

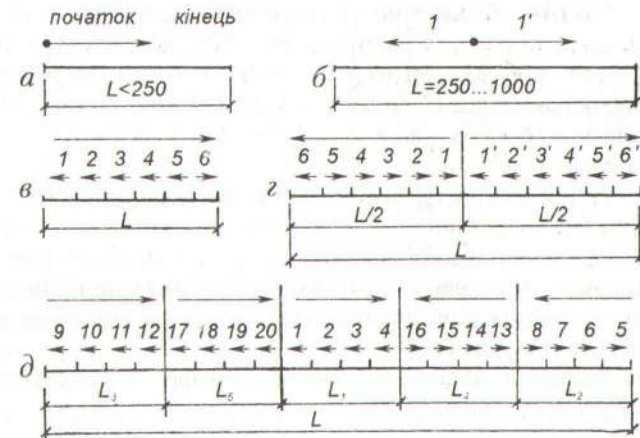


Рис. 7.14. Зварювання швів різної довжини:

а — «на прохід»; б — від середини до країв; в — зворотноступінчастий; з — зворотноступінчастий від середини до країв; д — зворотноступінчастий урозкид

Щоб уникнути жолоблення деталей, при зварюванні швів середньої довжини застосовують такі способи: від середини до країв (рис. 7.14 б) і зворотноступінчастий (рис. 7.14 в). При зворотноступінчастому способі зварювання шов розбивають на ділянки довжиною від 100 до 350 мм, щоб кожна ділянка зварювалась однаковою кількістю електродів (двома, трьома і т. д.). Перехід з однієї ділянки на іншу поєднують із зміною електрода.

Кожна ділянка зварюється в напрямку, протилежному загальному напрямку зварювання. Остання ділянка завжди зварюється «на вихід» (у протилежний бік). Зворотноступінчасте зварювання є ефективним методом зменшення внутрішніх напруг і деформацій при зварюванні.

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

У багатопровідних швах при зварюванні зворотноступінчастим способом місця стиків швів суміжних шарів дещо зміщують один відносно іншого через те, що в місцях початку і закінчення шва найвища вірогідність утворення дефектів. При зварюванні довгих швів одним зварником застосовують зворотноступінчастий спосіб урозкид (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 багат шарові шви зворотноступінчастим способом?
9. Якими способами виконують шви для рівномірного нагрівання металу шва по всій його довжині?
10. У яких з'єднаннях частіше використовують багатопрхідні 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 вверх і зверху вниз. При цьому основний і електродний метали скапують униз. Тому при вертикальному зварюванні зварювальний струм зменшують на 10–15% порівняно із зварюванням у нижньому положенні, а діаметр електрода не повинен перевищувати 4–5 мм. Щоб метал не витікав з ванни, слід підтримувати дуже коротку дугу, при якій відстань між краплями електродного і основного металу настільки мала, що між ними виникає взаємне притягування.

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

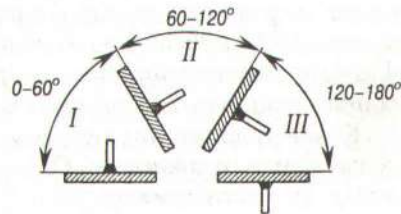


Рис. 7.15. Схема просторового розташування швів:  
I — нижнє; II — вертикальне та горизонтальне; III — стельове

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

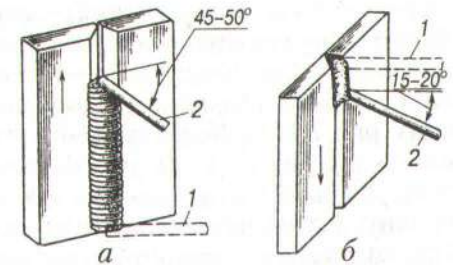


Рис. 7.16. Зварювання вертикальних швів:  
а — знизу вверх; б — зверху вниз

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 штучно збільшується, що дає можливість уникати пропалів. 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 вверх. Вертикальні шви зручно зварювати електродом з впиранням покриття 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 кромки виконують на одному верхньому листі (рис. 7.17 а) під кутом  $50 \pm 5^\circ$ . Дуга при цьому збуджується на нижній горизонтальній кромці (положення 1), а потім переноситься

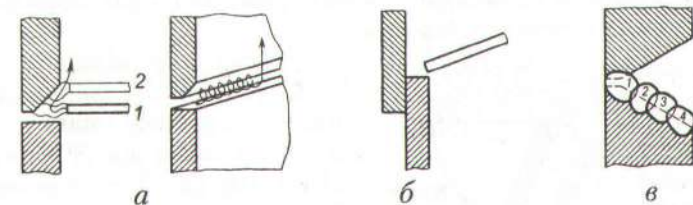


Рис. 7.17. Зварювання горизонтальних швів:  
а — стикове з'єднання із скосом однієї кромки; 1 і 2 — послідовність руху електродів;  
б — з'єднання внапуск; в — стикове з'єднання із скосом двох кромки; 1–4 — порядок накладання швів

на похилий скіс (положення 2), піднімаючи догори краплю металу. Електродом виконують спіральні коливальні рухи. Горизонтальні шви внапуск зварювати легше стикових тому, що кромка нижнього листа сприяє утриманню розплавленого металу від скапування вниз (рис. 7.17 б). Коли зварюють горизонтальні шви з двома скосами кромки (рис. 7.17 в), установлюють такий порядок накладання швів, при якому в процесі проварювання верхньої кромки вдається уникнути стельового положення кратера з розплавленим металом. При зварюванні горизонтальних швів високу якість забезпечують електроди з целюлозним покриттям (виконують упиранням 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. Складностей можна уникнути, зменшуючи силу зварювального струму на 15–20% порівняно з нижнім положенням, використовуючи електроди діаметром до 4 мм. При цьому зменшиться об'єм зварної ванни. Основною умовою одержання якісного шва є підтримання дуже короткої дуги шляхом періодичних замикань електрода з металом ванни. Кут нахилу електрода до основного металу становить 70–80° (рис. 7.18). У момент короткого замикання крапля 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 багатопрхідними швами. При цьому перший валик виконують електродом діаметром 3 мм, а наступні — діаметром не більше 4 мм. Для зварювання стельових швів використовують електроди з впиранням 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, по можливості, вироби розташовують так, щоб зварювання проходило в нижньому положенні.

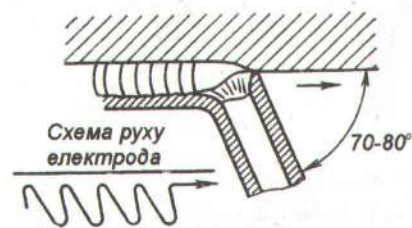


Рис. 7.18. Зварювання стельових швів

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

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

- РА — зварювання швів у нижньому положенні;
- РГ — вертикальне зверху вниз;
- РВ — вертикальне знизу вгору;
- РС — горизонтальне;
- РЕ — стельове;
- РД — напівстельове;
- РВ — напівгоризонтальне;
- Л—L045 — напіввертикальне зверху вниз;
- Н—L045 — напіввертикальне знизу вгору.

### Контрольні запитання та завдання

1. Чому нижні 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 НАПРУГИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

### 8.1. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ НАПРУГ І ДЕФОРМАЦІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Однією із властивостей металів є здатність змінювати розміри при змінах температури. При нагріванні метали вільно розширюються. Величина розширення залежить від температури нагрівання і коефіцієнта лінійного розширення металу.

Поряд з деформаціями і напругами, 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, розрізняють:

- 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 бувають:

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

Залежно від розмірів ділянки розрізняють три види напруг:

1. Напруги першого виду, які діють у крупних 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 легованих 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 шва 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 металі, схильному до гартування, не проковують;

— зворотноступінчастий порядок накладання швів (див. рис. 7.14 в) забезпечує більш рівномірне нагрівання металу, при цьому величина деформацій зменшується;

— урівноваження деформацій — почерговість накладання швів вибирають так, щоб кожен наступний викликав деформацію, зворотну до деформації, одержаної після попереднього шва (рис. 8.1 і 8.2);

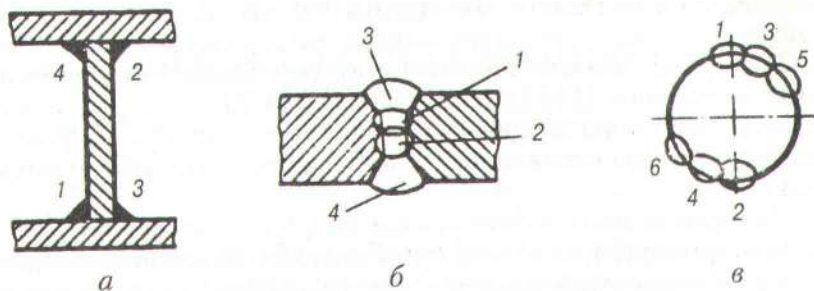


Рис. 8.1. Урівноваження деформацій:

*a* — при зварюванні двотаврових балок; *б* — при зварюванні стикового багатощарового шва; *в* — при наплавленні вала поздовжніми швами; 1–6 — послідовність накладання швів

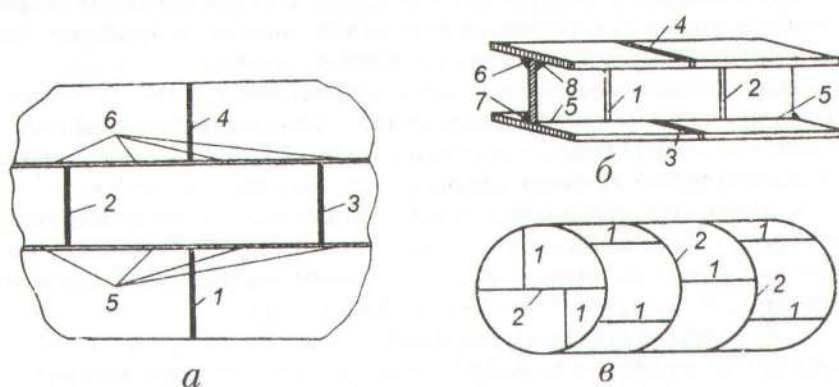


Рис. 8.2. Послідовність накладання швів:

*a* — при зварюванні листового матеріалу; *б* — при зварюванні двотаврової балки; *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 біляшовної зони.

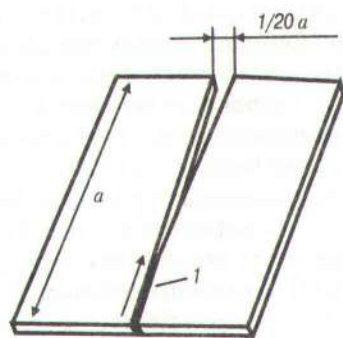


Рис. 8.3. Зворотна деформація:

*a* — довжина деталі; 1 — зварний шов

## 8.2. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Термічна обробка — це процес нагрівання металів і сплавів до критичної температури, при якій проходить зміна будови металу, витримування при цій температурі та охолодження.

Термічна обробка виконується до, під час і після зварювання. Для кожної марки металу є свої режими нагрівання та охолодження.

Застосовують такі види термообробки:

*відпал* — для зняття внутрішніх 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 піччю. Для повного відпалу метал нагрівають до 820–930°C, витримують і повільно охолоджують разом з піччю;

*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 розрахунку 2,5 хв на 1 мм товщини металу і повільно охолоджують. При нагріванні нижче критичної температури (723°C), структурні перетворення у шві не відбуваються.

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

## 8.3. ВІБРАЦІЙНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Зварні конструкції, виготовлені з низьковуглецевих сталей, після подальшої механічної обробки й тривалого зберігання можуть змінювати межі допусків і потребують додаткової обробки. Причиною таких змін є наявність залишкових 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 віброзбудувачів (вібраторів). До змінних напруг додаються зварювальні, й при досягненні границі текучості проходить пластична деформація.

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

Для віброобробки зварну конструкцію встановлюють на віброізолюючих опорах, прикріплюють струбцинами або болтами вібробудувач і датчик для реєстрації частоти та амплітуди коливань. Плавню змінюючи частоту коливань від мінімальної до максимальної встановлюють резонансні частоти, на яких і проводять віброобробку металокопструкції.

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 копструкцій, зменшує споживання електроенергії, знижує витрати на очищення металокопструкцій та підготовку до ґрунтування й транспортування.

Широко використовуються механічні інерційні дебалансні вібробудувачі, які входять до складу установок У912, 489ПМ, ВКСР-200, Альфа-3, ВК-90 та інші. Дебалансні вібробудувачі розвивають зусилля до  $7 \cdot 10^4$  Н у частотному діапазоні до 200 Гц.

Мала енергоємність віброобробки, низька вартість обладнання і простота обслуговування дозволяють ефективно використовувати вібростабілізацію на підприємствах одиничного, серійного та масового виробництва.

#### 8.4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОПСТРУКЦІЙ

Деформації, викликані зварюванням, є однією із головних причин, які призводять до відхилення дійсних розмірів металевих копструкцій від проектних. Для зменшення деформацій застосовують різні методи регулювання теплового стану металу зварного з'єднання, активне навантаження деталей при зварюванні й компенсацію деформацій. Тепловий стан металу зварного з'єднання регулюють такими способами:

- використовують зварювання таких видів, які потребують менше тепловкладення (механізоване дугове зварювання замість ручного дугового, зварювання тертям замість дугового тощо);
- зменшують об'єм наплавленого металу і переріз зварних швів;
- використовують попередній та супровідний підігрів для зменшення різниці температур між окремими частинами зварюваного виробу;
- регулюють теплові процеси за рахунок охолодження зони зварювання водою, повітрям, тепловідвідними підкладками й пастами.

Способами активного навантаження зварюваних елементів є розтяг деталей в процесі зварювання, вібраційна обробка під час зварювання та проковування швів. Найефективнішим засобом попередження деформацій є їх компенсація. Для цього використовують такі заходи:

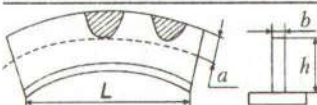
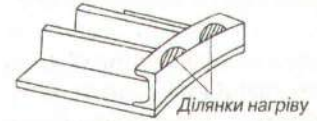
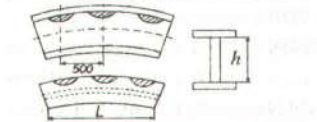
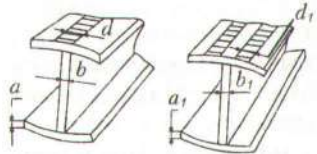

- довгі шви механізованим способом зварюють «на прохід», а ручним дуговим зварюванням — зворотноступінчастим способом;
- при зварюванні багатопрохідних швів кожний наступний шар виконують у протилежному напрямку;
- при зварюванні листових копструкцій в першу чергу зварюють поперечні шви, які з'єднують 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 поясні шви;
- при зварюванні виробів із симетричним розташуванням багатопарових швів, зварюють за методом урівноваження деформацій;
- деформації повинні бути рівні за величиною та зворотні за зварювальним напрямком;
- необхідно передбачати раціональну послідовність виконання складально-зварювальних операцій.

Якщо при зварюванні не вдається уникнути виникнення деформацій, то виріб випрямляють холодним (механічним впливом), тепловим безударним і комбінованим способами (нагрівання з механічною дією). Холодне випрямлення виконують під пресом або вантажем, прокатуванням роликками, у вальцях тощо. Цей спосіб використовують для видовження волокон зони зварних з'єднань. Теплове безударне випрямлення виконують нагріванням смуг, плям і трикутників без розплавлення поверхні (газовими пальниками, струмами високої частоти, електричною дугою). Тепловий спосіб використовують для скорочення волокон основного металу з метою компенсації скорочення зварних з'єднань. Сумарна величина залишкових пластичних деформацій при вирівнюванні залежить від температури нагрівання, потужності джерела нагрівання, розташування місця нагрівання, залишкових напруг, жорсткості копструкції, кріплення виробу та ін.

Оптимальну температуру при випрямленні визначають за умови одержання максимальних залишкових деформацій скорочення при мінімальних зворотних пластичних деформаціях видовження. Приклади деформованих елементів, зварних вузлів і режими їх випрямлення місцевим нагріванням наведені в табл. 8.1.

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

Приклади деформованих елементів і зварних вузлів;  
режими їх теплового виправлення

Елементи й частини 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
	Швелер до №20, лист товщиною до 8 мм	Смуги впоперек полицки	700	5–6
	$L$ до 12; $h$ до 0,5; площа перерізу до 200 см <sup>2</sup>	Трикутні ділянки на стінці й полицці	700	6–7
	$a$ до 30; $b$ до 16; $a_1 = 30-50$ ; $b_1 = 16-30$	Одна смуга $d = 20-30$ мм; дві смуги $d_1 = 30-40$ мм	700–800	6–7
	$b = 4-8$ ; $f$ до 6	Смуга нагрівання $d_1 = 20-30$ мм за контуром випуклості. Плями нагрівання $d_2 = 50-70$ мм у шаховому 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 ливарна усадка розплавленого металу?
5. Що таке структурні перетворення в метали?
6. Що забезпечує попередній і супровідний підігрів?
7. Що відбувається при проковуванні швів?
8. Що забезпечує зворотноступінчастий порядок 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 вища порівняно з ручним дуговим 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 багаточаровому зварюванні;
- доступність процесу зварювання металу різної товщини (від десятих часток міліметра до десятків міліметрів), можливість спостереження за утворенням шва.
- висока якість зварних металів та їх сплавів різної товщини;
- відсутність операцій з засипання й прибирання флюсу та видалення шлаку.

#### Недоліки зварювання в захисних газах:

- відкрита дуга, що підвищує небезпеку ураження зору світловим випромінюванням;
- потреба захисту зони зварювання від протягу (при струминному захисті), що утруднює зварювання в монтажних умовах на відкритому повітрі;
- втрати металу на розбризування, наявність газової апаратури, в деяких випадках необхідність водяного охолодження пальників.

Існує багато видів дугового зварювання в захисних газах які можна класифікувати за найсуттєвішими ознаками (рис. 9.1).

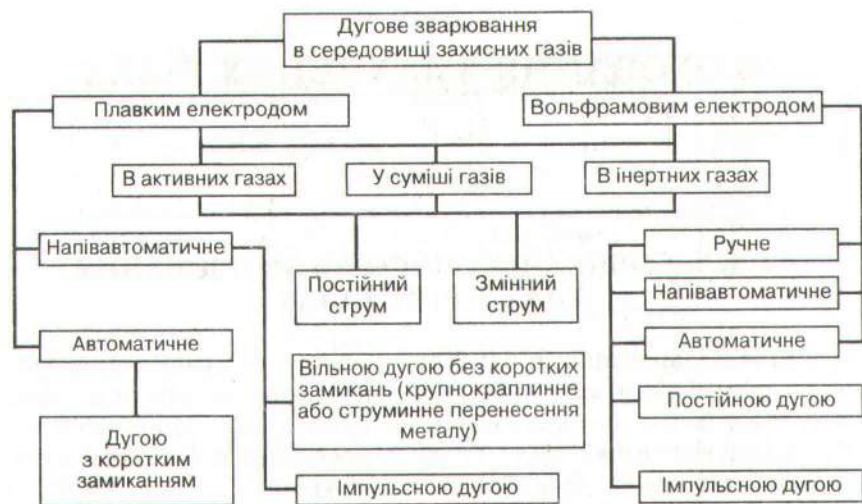


Рис. 9.1. Класифікація способів дугового зварювання в середовищі захисних газів

## 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.

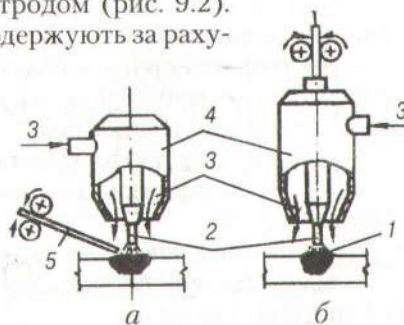


Рис. 9.2. Схеми зварювання в середовищі захисних газів:

*a* і *б* — неплавким і плавким електродом; 1 — зварювальна дуга; 2 — електрод; 3 — захисний газ; 4 — газове сопло пальника; 5 — присаджувальний 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 *a*), а при підвищених швидкостях зварювання — плавким електродом збоку (рис. 9.3 *б*). Для економії витрат дефіцитних і дорогих

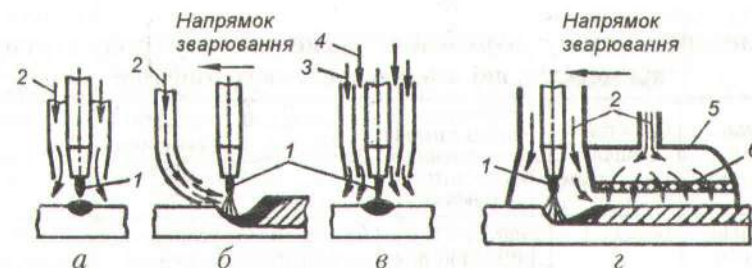


Рис. 9.3. Схеми подачі захисного газу в зону зварювання:

*a* — центральна; *б* — бокова; *в* — двома концентричними потоками; *г* — в рухому камеру (насадку); 1 — електрод; 2 — захисний газ; 3, 4 — зовнішній і внутрішній потік захисного газу; 5 — насадка; 6 — розподільна сітка

інертних газів використовується захист двома розділними потоками газів (рис. 9.3 *в*); зовнішній потік — вуглекислий газ. При зварюванні активних матеріалів для запобігання контакту повітря не тільки з розплавленим, але й з нагрітим твердим металом, застосовують видовжені насадки на сопла (рухомі камери; рис. 9.3 *г*). Надійний захист досягається при розташуванні виробу в стаціонарних камерах, заповнених захисним газом.

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

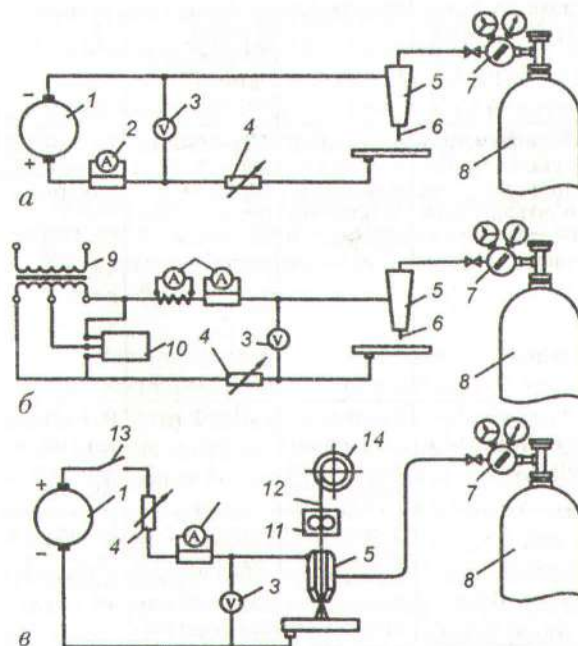


Рис. 9.4. Схеми зварювання в захисних газах:

*a* — неплавким електродом на постійному струмі прямої полярності; *б* — неплавким електродом на змінному струмі; *в* — плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності; 1 — зварювальний перетворювач; 2 — амперметр; 3 — вольтметр; 4 — баластний реостат; 5 — наконечник пальника; 6 — вольфрамовий електрод; 7 — редуктор-витратомір газу; 8 — балон із стиснутим газом; 9 — зварювальний трансформатор; 10 — осцилятор; 11 — механізм подачі дроту; 12 — електродний плавкий дріт; 13 — контакт контактора; 14 — котушка з дротом

Таблиця 9.1

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

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніша галузь застосування в будівництві й монтажі	Зварювання	Захисний газ	Струм
Вуглецеві та низьколеговані сталі	Більше 1	Решітчасті й листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне, напівавтоматичне плавким електродом	Вуглекислий газ, суміші вуглекислого газу з киснем до 30%, суміші аргону з вуглекислим газом (90+10%), аргон 2-го сорту	Постійний зворотної полярності
	0,5–3	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 неплавким електродом	Нержавіючі: аргон 2-го сорту, гелій, суміш аргону й гелію. Жароміцні: аргон 1-го сорту, гелій	Постійний прямої полярності та змінний
Нержавіючі й жароміцні сталі	1 і більше	Листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне й напівавтоматичне плавким електродом	Нержавіючі: аргон 2-го сорту, гелій, вуглекислий газ, суміш аргону й вуглекислого газу (90+10%). Жароміцні: аргон 2-го сорту, гелій	Постійний зворотної полярності
Мідь і її сплави	0,5 і більше	Листові конструкції і трубопроводи	Ручне й механізоване неплавким 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 аргону і азоту (20–30%)	Постійний зворотної полярності

Закінчення таблиці 9.1

Метал, який зварюється	Орієнтовна товщина металу, мм	Найпоширеніша галузь застосування в будівництві й монтажі	Зварювання	Захисний газ	Струм
Алюміній та його сплави	0,5 і більше	Решітчасті й листові конструкції, трубопроводи та монтажні шви негабаритної апаратури	Ручне і механізоване неплавким електродом	Аргон 1-го сорту	Змінний
	2 і більше		Автоматичне і напівавтоматичне неплавким електродом	Аргон 1-го і 2-го сорту, суміш аргону і гелію (35±65%)	Постійний зворотної полярності
Титан та його сплави	0,5 і більше	Листові конструкції, трубопроводи й монтажні шви негабаритної апаратури	Ручне і механізоване неплавким електродом	Аргон вищого сорту	Постійний прямої полярності
	3 і більше	Листові конструкції, монтажні шви негабаритної апаратури	Автоматичне і напівавтоматичне плавким електродом	Аргон вищого й першого сорту	Постійний зворотної полярності

Зварювання вольфрамовим електродом на постійному струмі прямої полярності застосовують практично для всіх металів крім легкоплавких – алюмінію, магнію, берилію та їх сплавів. На прямій полярності забезпечується краща стабільність дуги, незначні витрати вольфрамового електроду та можливість зварювання на великому струмі.

При зварюванні на зворотній 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 аргону, що утворюються під дією електричного поля, рухаючись від електрода (+) до виробу (–), руйнують оксидну плівку і забруднення.

Це явище називається катодним розпиленням.

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 розпилення спостерігається, коли виріб стає катодом.

Через зміну полярності вольфрамовий електрод не перегрівается, 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. Газу вибираються 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 випрямляють, розмічають, розрізають на окремі деталі, при потребі виконують розробку кромки відповідно до ГОСТу. Підготовка кромки під зварювання включає очищення від іржі, окалини, пилу, масла. Очищення здійснюють сталевими щітками, гідропіскоструминним і дробометними способами, абразивними кругами, полум'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 дуговим зварюванням у захисному газі, регламентовані ГОСТом 14771-76 «Дугове зварювання в захисному газі. З'єднання зварні». Цим стандартом передбачено чотири типи з'єднань: стикові при зварюванні металу товщиною від 0,5 до 120 мм; кутові при зварюванні металу товщиною від 0,5 до 100 мм; таврові при зварюванні металу товщиною від 0,8 до 60 мм. Залежно від форми підготовки кромки і товщини зварних деталей шви бувають: із відбортуванням кромки, без скошу кромки, із прямим, ломаним, ступеневим або криволінійним скосом 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 вазі» та на різного роду підкладках — мідно-флюсовій, тимчасовій сталевій і такій, що залишається.

**Стандартом встановлено такі позначення способів зварювання:**

**ІН** — в інертних газах неплавким електродом без присаджувального металу;

**ІНп** — в інертних газах неплавким електродом із присаджувальним металом;

**ІІІ** — в інертних газах та їх сумішах із вуглекислим газом і киснем 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	Граничні товщини зварних деталей, мм
			підготовлених кромки зварних деталей	шва зварного з'єднання		
Стикове	Без скошу кромки, замковий	С6			ІН ІНп ІІІ ВП	0,5-4,0 0,8-6,0 0,8-6,0 0,8-8,0
Стикове	З ламаним скосом однієї кромки	С14			ІІ ВП	18-100 18-100
Стикове	Із ступінчастим скосом двох кромки	С22			ІНп ІІІ	4-20 4-20
Кутове	З двома симетричними скосами однієї кромки	К8			ІНп ІІ ВП	10-20 10-20 6-100
Таврове	З двома симетричними скосами однієї кромки	Т9			ІНп ІІ ВП	6-20 6-80 6-80
Унапуск	Без скошу кромки	Н2			ІН ІНп ІІІ 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 притуплення, мм;  $e$ ,  $e_1$  — ширина шва, мм;  $g$ ,  $g_1$  — висота посилення шва, мм;  $K$  — катет шва, мм;  $R$  — радіус заокруглення, мм;  $\alpha$  — кут скошу, град.;  $B$  — величина напуску, мм;  $\delta$  — товщина торця кромки, що залишилася, мм.

Вид розробки кромки та їхні геометричні розміри повинні відповідати ГОСТу 14771-69 або технічним умовам щодо виготовлення виробу. При напівавтоматичному зварюванні плавким електродом можна отримати повний провар без розробки кромки і без зазору між ними при товщині металу до 8 мм. При зазорі або розробці кромки повний провар досягається при товщині металу до 11 мм при зварюванні у вуглекислому газі багат шарових швів. Перед накладанням наступного шару поверхню попереднього старанно зачищають від бризок і шлаку. Для зменшення забризкування поверхні деталі покривають спеціальними препаратами: UFO-1 спрей, «Захист-1». Деталі складають за допомогою струбцин, клинів, скоб або прихваток.

#### 9.4. СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ

Для стійкого горіння зварювальної електричної дуги необхідно забезпечити рівність швидкостей плавлення електроду  $U_e$  і подачі його в зону дуги  $U_n$ , що досягається по одному з трьох варіантів:

– саморегулювання дуги. Обов'язковою умовою цього варіанту регулювання є постійність швидкості подачі електроду ( $U_n$ ). Зміна швидкості подачі можлива при налагоджуванні апарата перед роботою шляхом зміни шестерень приводу механізму подачі або за допомогою механічного варіанту в процесі роботи;

– регулювання напруги дуги або зварювального струму, а відповідно й швидкості плавлення 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 змінну швидкість подачі електроду  $U_n$  і використовують властивості статичних характеристик джерел живлення зварної мережі та характеристики електричної дуги.

#### 9.5. КЛАСИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для механізованого зварювання використовується обладнання, яке можна класифікувати за такими ознаками:

– вид зварювання (дугове, газове, електрошлакове, контактне, ультразвукове, холодне тощо);

– метод зварювання (електродугове під флюсом, електродугове в активних та інертних газах, електрошлакове пластинчастим електродом тощо);

– ступені механізації зварювального процесу (автоматичний або напівавтоматичний);

– можливості переміщення апарата (самохідні або стаціонарні). Самохідні поділяють на такі, що переміщуються по спеціальних направляючих (самохідні 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 значних переваг. До їх недоліків відноситься нестабільність роботи при значних коливаннях напруги в мережі живлення зварювального кола.

Як правило, всі зварювальні напівавтомати оснащені механізмами з постійною швидкістю подачі електроду. На ВАТ «Завод Електрик» освоєно виробництво компактних і мобільних напівавтоматів ПДГ-165-1, ПДГ-2010 і ПДГ 2510 для зварювання в  $CO_2$  і сумішах захисних газів  $Ar+CO_2$ . Напівавтомати оснащені подаючим пристроєм із двома роликми.

Напівавтомат ПДГ-2510 укомплектований подаючим пристроєм, який має чотири роликми, 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 подаючих роликів, шт.	2	2	4
Діаметр електродного дроту, мм: суцільного 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 пальника	Євророз'єм	Євророз'єм	Євророз'єм
Діаметр касети, мм	200	200; 300	200; 300
Витрати захисного газу, л/год	550	550	840
Ступінь захисту	1Р21	1Р21	1Р21
Габаритні 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, газоелектричного клапана і шланга, який з'єднує ці елементи із зварювальним пальником.

**Балон** — сталевий ємність, призначена для зберігання й транспортування стиснутих, зріджених і розчинених газів під тиском. Виготовляють 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 вентилям балона і редуктором встановлюють електричний підігрівач.

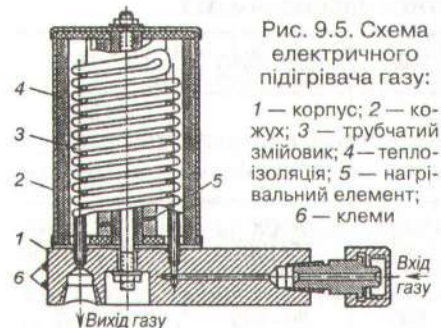


Рис. 9.5. Схема електричного підігрівача газу:  
1 — корпус; 2 — кожух; 3 — трубчастий змійовик; 4 — теплоізоляція; 5 — нагрівальний елемент; 6 — клемми

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

Наявність 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 (продуваючи 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).

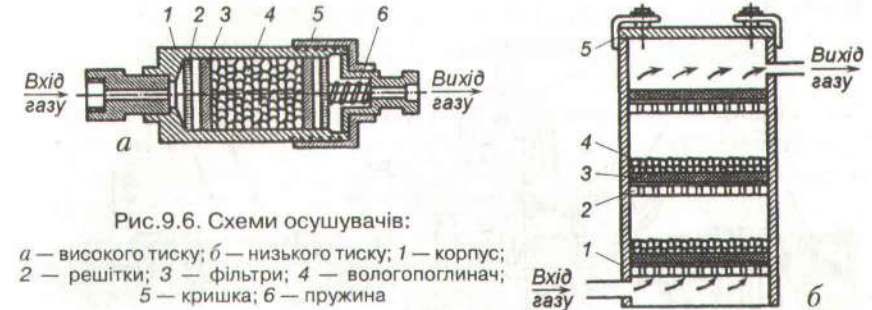


Рис. 9.6. Схеми осушувачів:

а — високого тиску; б — низького тиску; 1 — корпус; 2 — решітки; 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 алюмогликоль, інколи мідний купорос і хлористий кальцій. Вбирач вологи пропарюється при температурі 200–250°C протягом 1–2 год. Осушувач розрахований на осушування 30–35 м<sup>3</sup> 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 частішої заміни вбирача вологи, тож його раціонально застосовувати при централізованому газопостачанні.

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

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

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

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

Поділки шкали, МПа	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25
Витрати CO <sub>2</sub> , 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.

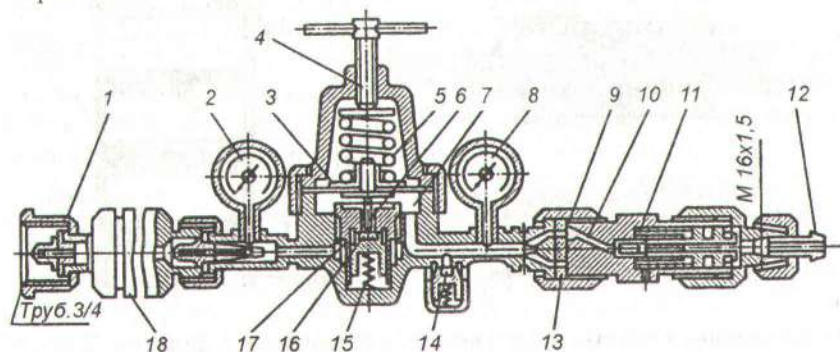


Рис. 9.7. Схема газового редуктора У-30 для вуглекислому газу:

1 — накидна гайка; 2, 8 — манометри; 3 — мембрани; 4 — регулювальний гвинт; 5, 15 — пружини; 6 — голка; 7 — камера низького тиску; 9, 13 — калібровані отвори; 10 — канал; 11, 16 — запірні клапани; 12 — ніпель; 17 — сидло; 18 — підігрівач газу

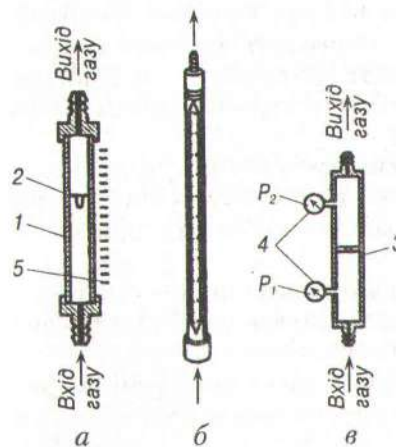


Рис. 9.8. Витратоміри газу:

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

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

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

якій тиск струменю газу врівноважує 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, шафа керування з електровимірювальною й пускорегулюючою апаратурою, пальник 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, пересувні.

Стаціонарні напівавтомати мають різні механізми подачі дроту і пульт керування. Маса дроту і механізму подачі може досягти 100 кг. Стаціонарні напівавтомати призначені для зварювання дрібногабаритних деталей.

У переносних напівавтоматах легкі механізми подачі дроту: маса зварювального дроту, намотаного на касету, невелика. Механізм подачі дроту і касета розміщуються в портативному ящику. Напівавтомати цієї групи достатньо транспортабельні й маневрені. Більшість напівавтоматів типу А-547А, А-537, ПДПТ-500, А-1114М, А-1230М мають переносні механізми подачі, які успішно використовуються в стаціонарних і пересувних напівавтоматах.

Пересувні напівавтомати бувають з легким механізмом подачі, що вільно відділяється від інших вузлів (А-765) або встановлені на візках (А-1035, А-1197) і змонтовані разом із джерелом живлення та балоном із вуглекислим газом на платформі з колесами.

Легкі пересувні напівавтомати розраховані на переміщення їх з одного місця на інше. Пульт керування цих напівавтоматів установлюється стаціонарно на робочому місці на деякій відстані від механізму подачі дроту поряд з джерелом живлення або монтується на 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 з ГОСТ ом 18130-79Е (табл. 9.4.)

Таблиця 9.4

**Загальні характеристики напівавтоматів для дугового зварювання плавким електродом**

Електродний дріт	Діаметр електродного дроту, мм	Швидкість подачі електродного дроту, м/год	Номинальний зварювальний струм, А	Умови зварювання
Суцільний: алюмінієвий	1,2–2,0	80–230	200	У газовому середовищі інертних, активних газів
сталевий	0,8–1,2	120–720	200	
Суцільний: алюмінієвий	1,6–2,0	80–440	315	Те ж
сталевий	1,0–1,4	120–960	315	
Порошковий сталевий	1,2–1,6 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 щільності струму, що забезпечує легкість саморегулювання зварювальної дуги і відповідно вимагає постійної швидкості подачі.

**Подача електрода (дроту) в зону зварювання.** Основу механізму подачі становлять привід і система подаючих роликів. Різні поєднання роликів (принципова схема) в сучасних механізмах і їх робоча поверхня показані на рис. 9.9.

У механізмах подачі порошкових дротів рекомендується застосовувати варіанти компонування з двома парами роликів або з більшим кутом обхвату (рис. 9.9) для роликів *КШ*; ролики *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: проштовхувальний, протягувальний і комбінований (проштовхувально-протягуючий).

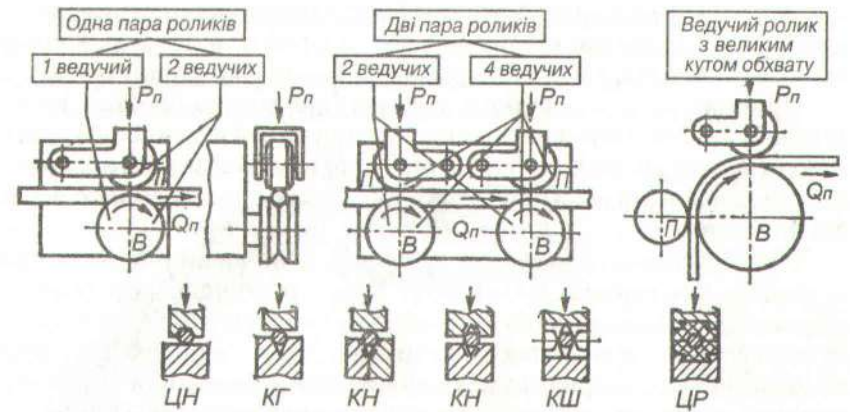


Рис. 9.9. Роликові пристрої подачі дроту:

$P_n$  — зусилля притиску;  $B$  — ролики ведучий та притискний;  $Q_n$  — зусилля подачі механізму; ЦН — ролик циліндричний з насічкою; КГ — рівний ролик із канавкою; КН — ролик із насіченою канавкою; КШ — ролик із канавкою (шестеренчастий), ЦР — ролик циліндричний (покритий гумою)

У першому варіанті ролики проштовхують зварювальний електрод у зону дуги, розташовуючись на значній віддалі від струмопідводу. В другому варіанті ролики 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 проштовхує дріт, а інші ролики знаходяться в районі струмопідводу і тягнуть електрод.

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

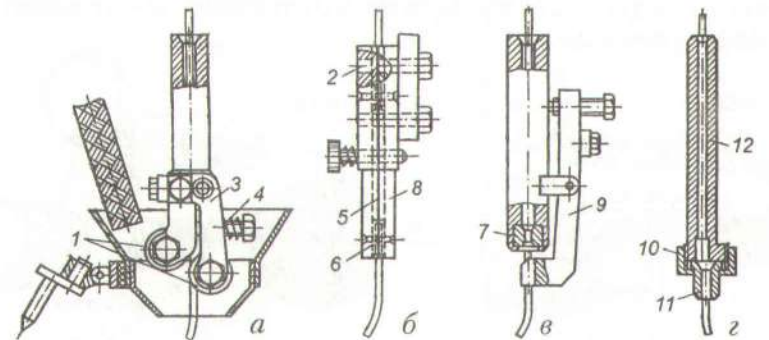


Рис. 9.10. Струмопідвідні мундштуки:

*a* — роликівий, *b* — колодковий, *v* — чобітковий, *z* — трубчатий; 1 — контакт роликівий; 2 — штир; 3 — корпус; 4 — пружина; 5, 8 — контакти колодки; 6, 7 — вставки; 9 — змінна напрямна; 10 — накидна гайка; 11 — наконечник; 12 — труба

У роликівих мунштуках струм підводиться через струмоведучий корпус і роликіві контакти; в колодкових мунштуках — через нерухому колодку, а рухома може пересуватися по стояку.

Принцип дії двох останніх конструкцій досить простий і зрозумілий. Трубочаті мунштуки 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 мунштуки, вони надійні й достатньо довговічні при струмах 800–1300 А. Проте їх не можна використовувати при вузьких розробках. Колодкові мунштуки довговічніші. Їх застосовують в апаратах для струму 1300 А та вище. Чобіткові використовуються при струмах менших 800 А, невеликій щільності струму, в наплавлювальних і електрошлакових апаратах. Нижня частина чобіткових мунштуків компактна, тому вони дуже зручні для роботи в важкодоступних місцях.

### 9.7.2. Гнучкі 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.

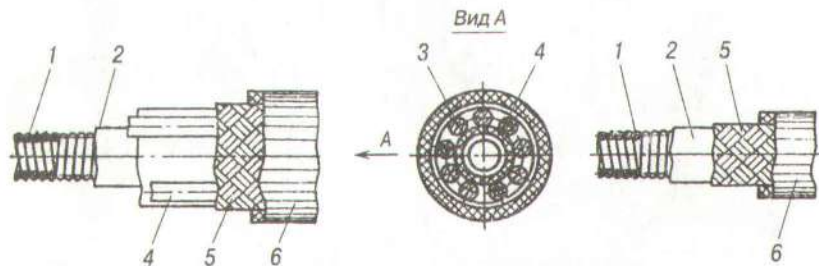


Рис. 9.11. Гнучкі напрямні рукава:

а — тип КШПЕ; б — тип КН; 1 — трубка; 2 — 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).

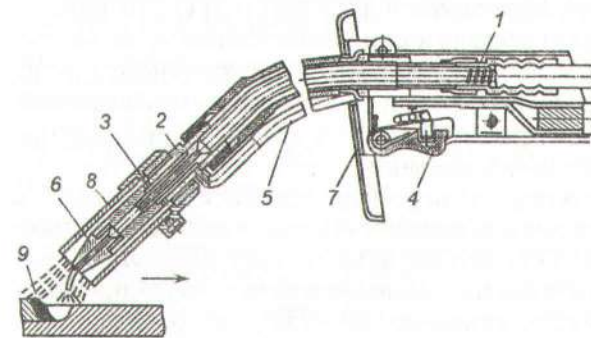


Рис. 9.12. Схема пальника шлангового напівавтомата А-1197П:

1 — рукоятка; 2 — перехідна втулка; 3 — отвір для виходу газу в сопло; 4 — гашетка пускової кнопки; 5 — мунштук; 6 — наконечник; 7 — захисний щиток; 8 — сопло; 9 — захисна атмосфера

Пальник має зігнутий мунштук 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 розташовується на блоці керування. Кнопка включення механізму подачі знаходиться на пальнику.

У напівавтоматах, які мають шланги довжиною понад 5 м, для ліквідації нерівномірності подачі дроту застосовують механізм подачі протягувально-прошовхувального 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.

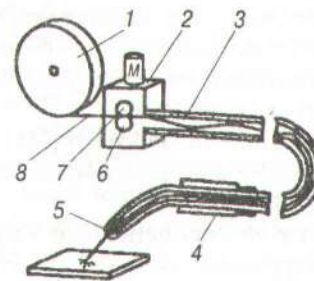


Рис. 9.13. Схема шлангового напівавтомата проштовхувального типу:

1 — катушка; 2 — механізм подачі; 3 — гнучкий шланг; 4 — тримач; 5 — наконечник; 6 — притискний ролик; 7 — ведучий ролик; 8 — дріт

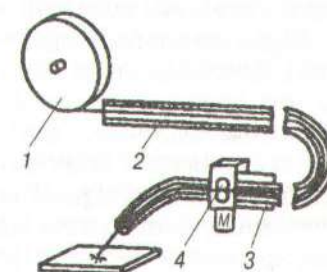


Рис. 9.14. Схема шлангового напівавтомата протягувального типу:

1 — катушка; 2 — шланг; 3 — тримач пальника; 4 — ролик подачі; М — електродвигун механізму перетягування

### 9.7.3. Напівавтомати ПДГО-508 і ПДГО-510 для дугового зварювання

Сімферопольська електромашинобудівельна фірма «СЕЛМА» освоїла виготовлення напівавтоматів ПДГО-508 і ПДГО-510, призначених для механізованого зварювання низьковуглецевих, легованих і корозієстійких 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-АН.

Напівавтомати універсальні, пересувні. Існує 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 угорського виробництва і газовий тракт. Пульт керування зварювальним режимом встановлено на лицевій панелі. Зовні на окремому кронштейні розташовані касета й тормозний пристрій, який відповідає європейському стандарту. Крім того, механізм подачі можна використовувати й при роботі безпосередньо з повною бухтою електродного дроту, вкладену на розмотуючий пристрій. Для стикувального вузла з пальником передбачено два виконання: з єврорознімачем або втичним 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 пальнику, зміну параметрів зварювального режиму в процесі роботи, встановлення тимчасових інтервалів зварювального циклу, дистанційне включення джерела живлення зварювального струму, можливість роботи в режимах «довгі шви» та «короткі шви».

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

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

Таблиця 9.5

### Технічна характеристика напівавтоматів

Характеристика	ПДГО – 508	ПДГО - 510
Напруга мережі живлення, В	3×380	3×380
Частота мережі живлення, Гц	50	50
Номінальний зварювальний струм (при ПВ = 60%), А	630	500
Границі регулювання зварювального струму, А	60–630	60–500
Напруга холостого ходу, В	92	85
Номінальна робоча напруга, В	56	50
Потужність, яка споживається, кВА	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

### 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 переміщують у напрямку осі шва. Але це не завжди єдиний рух, який надається кінцю електрода. Для якіснішого заповнення розробки кромок інколи електроду надають коливальних рухів уперек осі шва із заданою амплітудою і частотою коливань.

**Пальники для автоматичного зварювання в середовищі захисних газів із змінним вильотом вольфрамового електрода.** Автоматичне зварювання неплавким 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 зварного шва. При цьому зменшується глибина проплавлення і як наслідок — якість зварних з'єднань. Тому при експлуатації існуючих зварювальних пальників передбачається періодична зупинка

процесу зварювання, охолодження пальника і висування електроду на потрібну величину. Отже, при даному процесі мають місце непродуктивні витрати робочого часу і, залежне від регулювання довжини дуги, зниження якості зварного шва в місцях зупинки процесу.

Системи автоматичного регулювання вильоту електроду дорогі, складні й трудоміккі у виготовленні та експлуатації.

Пальники ГН-3, ГН-6 і ГН-12, виготовлені й випробувані в ВАТ «Азов», розраховані на роботу при різних струмах. ГН-3 працює на струмі 300–600 А, ГН-6 — 600–1000 А і ГН-12 — на струмі 1000–1500 А.

Пальник ГН-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 пальника 6 і струмопідводу 7 (рис. 9.15 а).

ГН-12 — це пальник великої потужності для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 10–12 мм (рис. 9.15 б).

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

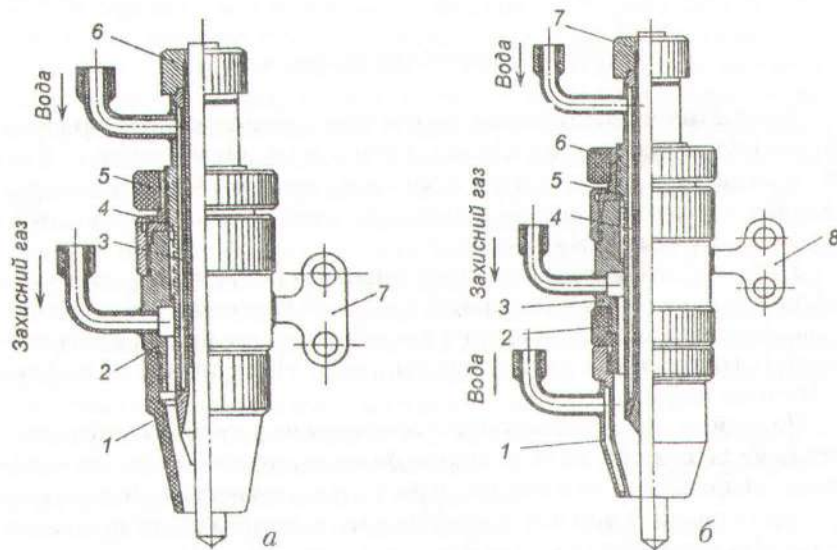


Рис. 9.15. Загальний вигляд пальників:

а — ГН-6 із керамічним соплом: 1 — керамічне сопло; 2 — корпус; 3 — цанга; 4 — втулка цанги; 5 — ручка переміщення електроду; 6 — втулка кріплення пальника; 7 — струмопідвід;  
б — ГН-12 з водоохолоджувальним соплом: 1 — водоохолоджуюче сопло; 2 — перехідна фторопластова втулка; 3 — корпус; 4 — цанга; 5 — втулка цанги; 6 — рукоятка переміщення електроду; 7 — втулка кріплення пальника; 8 — струмопідвід

Універсальний зварювальний автомат ТС-42 призначений для автоматичного одно- та багат шарового зварювання виробів у середовищі захисних газів суцільним і порошковим 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 ПСГ-500-1 або випрямляча ВС-600.

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

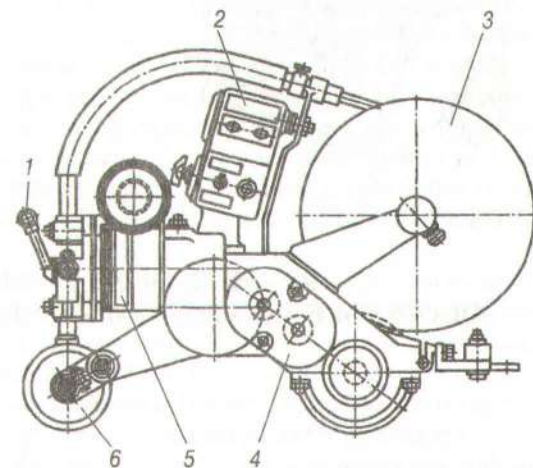


Рис. 9.16. Універсальний зварювальний трактор ТС-42:

1 — важіль підтискання 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 стиків унапусток. Автомат складається з двох вузлів: зварювального трактора і випрямляча ВДУ-504-1. Відрізняється від базового типу АДФ конструкцією струмопідводів, наявністю водяного охолодження і захисного газу, відсутністю бункера для флюсу. Струмопідвід 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.

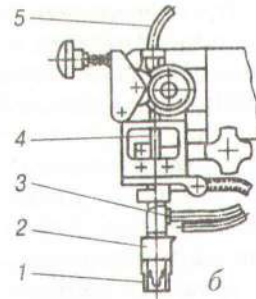
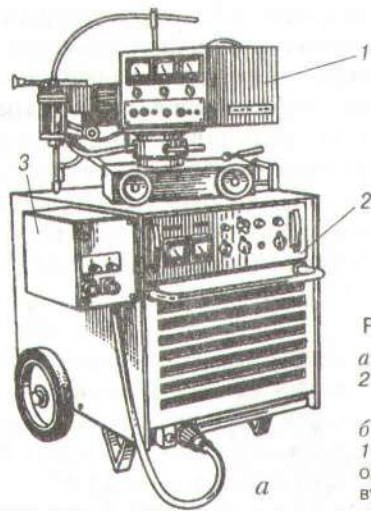


Рис. 9.17. Зварювальний автомат АДГ-502:

*a* — загальний вигляд; 1 — зварювальний трактор;  
2 — зварювальний випрямляч ВДУ-500-1;  
3 — додатковий пульт керування;

*б* — зварювальна головка трактора автомата:  
1 — змінні струмопідвідні наконечники; 2 — водоохолоджувальне сопло; 3 — ніпель для підведення вуглекислого газу; 4 — трубка; 5 — шланг для дроту

## 9.8. РЕЖИМ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ

До основних параметрів режиму автоматичного і напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі належать: діаметр електродного дроту, сила зварювального струму, 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 розбризкування 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 кромки з кутом 60° і притупленням 2–4 мм. Метал більшої товщини зварюють при вузькому щільному розчищенні кромки за декілька проходів.

**Сила зварювального струму.** При збільшенні сили зварювального струму, збільшується глибина провару, що призводить до збільшення частки основного металу в шві. Ширина шва спочатку збільшується, а потім зменшується. Силу зварювального струму встановлюють залежно від вибраного діаметра електрода.

**Рід і полярність струму.** Зварювання плавким електродом виконують на зворотній полярності. При прямій полярності швидкість розплавлення в 1,4–1,6 рази вища, ніж при зворотній, проте дуга горить менш стабільно з інтенсивним розбризкуванням. Крім того, одержують не якісний, незадовільно сформований шов.

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

**Швидкість зварювання.** 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 кромки краще заповнювати вужчими валиками на великій швидкості. При дуже великій швидкості зварювання кінець електрода може вийти 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 якісні з'єднання можна одержати при товщині металу понад 0,5 мм; при механізованому — понад 1 мм. В основному зварюють метал товщиною понад 3 мм.

**Виліт електрода.** Із збільшенням вильоту електрода погіршується стійкість горіння дуги і формування шва, а також збільшується розбризкування рідкого металу. При зварюванні з дуже малим вильотом погіршується спостереження за процесом зварювання і часто підгорають газове сопло й струмопідвідний 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 попадання кисню та азоту повітря в розплавлений метал, 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	Віддачу від сопла пальника до поверхні зварювального металу, мм	Витрати вуглекислого газу, дм <sup>3</sup> /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 цеху, вітру тощо. У таких випадках для покращення газового захисту необхідно збільшувати витрати вуглекислого газу, зменшувати швидкість зварювання, наближати сопло до поверхні металу або використовувати захисні 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 пропалів. При зварюванні кутом назад покращується видимість зони зварювання, підвищується глибина провару і наплавлений метал є більш щільним.

У довідковій літературі орієнтовні режими приводяться у вигляді таблиці, в яку включено лише основні параметри режиму. В табл. 9.7 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	280–380	28–35	18–24	16–18
8,0–12	1,8–2,2	2–3	2,5	280–450	27–35	16–30	18–20

У практиці застосовують також зварювання на підвищених (форсованих) режимах: збільшених силі струму, напрузі дуги та швидкості зварювання, що дозволяє збільшити продуктивність на 25–75%. У масовому виробництві (наприклад, при виробництві шківів коліс автомобілів) застосовують швидкісне автоматичне зварювання у вуглекислому газі дротом діаметром 3–5 мм. В обмеженому обсязі використовують зварювання у вуглекислому газі неплавким 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 металу 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 вазі». Автоматичне зварювання можна виконувати на підкладках, які знімаються або залишаються, чи на флюсових подушках. Найкращі результати одержують при використанні газових подушок (рис. 9.18). Вони покращують формування кореня шва, а при зварюванні активних металів сприяють захисту нагрітого твердого металу від взаємодії з повітрям. Газ, що подається в подушку, за складом можуть бути 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.

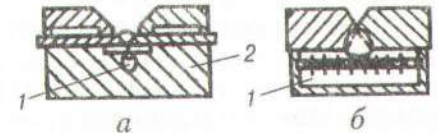


Рис. 9.18. Схеми газових подушок: а, б — одно- і двобічне зварювання; 1 — захисний газ; 2 — мідна підкладка

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

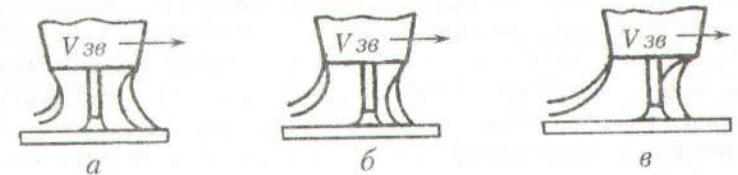


Рис. 9.19. Зварювання на малих (а), середніх (б) і великих (в) швидкостях

Вітер і протяги знижують ефективність газового захисту. Тому витрати захисного газу необхідно підвищувати на 20–30%, а також збільшувати діаметр отвору сопла, наближати пальник до поверхні деталі. При зварюванні на підвищених швидкостях пальник 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 (мінус на вольфрамовому електроді) добре запалюється 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 зворотній полярності (плюс на вольфрамовому електроді) збільшується напруга дуги, зменшується її стійкість, підвищується нагрівання електрода, зменшуються витрати електрода, зменшується глибина проплавлення основного металу.

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

Негативна дія зворотної полярності на стійкість горіння дуги і сильний нагрів вольфрамового електрода дають можливість застосування змінного струму при зварюванні алюмінієвих і магнієвих сплавів.

При зварюванні електродами малого діаметра на змінному струмі витрати вольфраму майже в 1,5 рази більше витрат при зварюванні на постійному струмі. Вуглецеві й леговані сталі, корозійностійкі та жароміцні сталі й сплави, мідь і мідні сплави, нікель і нікелеві сплави, титанові сплави та інші метали, що майже не окиснюються, доцільно зварювати дугою постійного струму прямої полярності (табл. 9.8).

Таблиця 9.8

**Зварюваність металів при аргонодуговому зварюванні вольфрамовим електродом**

Метали, що зварюються	Змінний струм	Постійний струм, полярність	
		пряма	зворотна
Низьковуглецева, низько- і середньолегована сталь; корозійностійкі й жароміцні сталі та сплави	Задовільна зварюваність	Добра зварюваність	Не рекомендується
Алюміній і його сплави, магній і його сплави	Добра зварюваність	Не рекомендується	Задовільна зварюваність
Мідь і мідні сплави	Не рекомендується	Добра зварюваність	Не рекомендується
Титан і його сплави, цирконій, срібло	Задовільна зварюваність	Добра зварюваність	Не рекомендується

**9.10. ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ**

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

Перед початком зварювання необхідно включити газ і перевірити його витрати, зачекати декілька секунд, щоб повністю вийшло повітря з шлангів, і обдути місце зварювання вуглекислим газом. Недотримання цих умов призводить до утворення пор на початку шва.

У момент закінчення процесу зварювання перестають пересувати дугу, виключають подачу дроту й зварювальний струм, затримують на 1–2 с мундштук над кратером, щоб захистити метал зварної ванни від окиснення, а потім відводять тримач від місця зварювання. Закінчувати процес зварювання розтягуванням дуги не рекомендується. Перед закінченням процесу зварювання рекомендується заповнити кратер шва металом. Заповнення (заварювання) кратера металом особливо необхідне при зварюванні дротом діаметром понад 1,2 мм, оскільки в незаповненому кратері в даному випадку після твердіння металу утворюються надриви (гарячі 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 надривів. Експериментально встановлено, що тріщини не утворюються в кратері, якщо в момент обриву дуги зменшити до мінімуму зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту. При цьому кратер повністю заварюється. Крайні результати одержують, якщо перед обривом дуги зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту зменшують поступово.

В Інституті електрозварювання ім. Є. 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 планці (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. Таврові з'єднання, розташовані не «в човник», зварюють з таким же нахилом електрода в напрямі зварювання і з нахилом його уперек шва під кутом 40–50° до горизонту. При цьому електрод направляють або точно в кут, або зміщують на 1–1,5 мм на горизонтальну полицку.

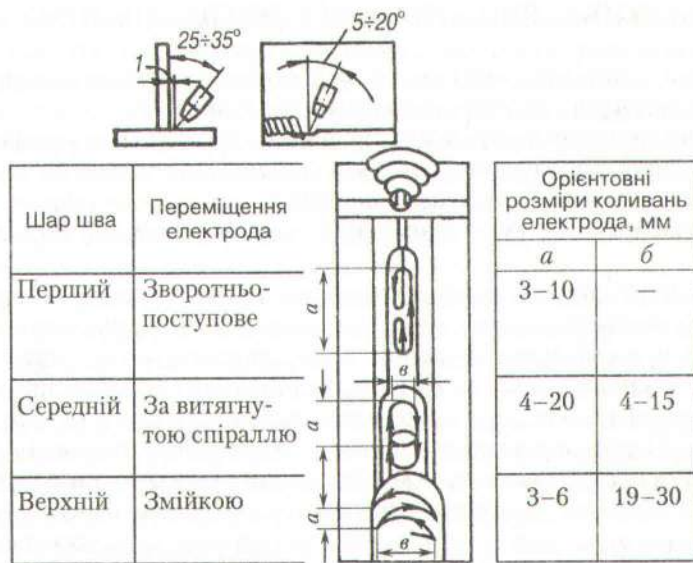


Рис. 9.20. Положення наконечника напівавтомата і прийоми переміщення електрода при зварюванні у вуглекислому газі в нижньому положенні

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 багат шарового шва виконують при переміщенні електрода за витягнутою спіраллю, а верхні шари — змійкою. Крок переміщення і амплітуда поперечних коливань електрода приймаються залежно від ширини розробки кромки. Переміщення електрода змійкою може виконуватися так, як показано на рис. 9.20, а також у протилежному напрямку (вперед, потім назад і знову вперед).

З'єднання 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 дротом діаметром 0,5–1,2 мм. Досвідчені зварники зварюють вертикальні й горизонтальні шви великих перерізів дротом діаметром до 1,6 мм.

Зварювання у всіх просторових положеннях, крім нижнього, виконують на понижений 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 кромки, щоб забезпечити необхідний провар початку шва. Після утворення зварної ванни електрод нахляють нижче горизонталі на кут 10–15°. При цьому тиск дуги сприяє утриманню рідкого металу зварної ванни від стікання.

Зварювання тонколистового металу в горизонтальному положенні за технікою виконання аналогічне зварюванню у вертикальному положенні. Після збудження дуги електрод розташовують нижче горизонталі для утримання металу зварної ванни від стікання. У стельовому положенні шви зварюють на пониженому зварювальному струмі і напрузі дуги при незначному збільшенні витрат вуглекислого газу. Для кращого утримання рідкого металу від стікання електрод установлюють з невеликим кутом нахилу назад. Якщо необхідно одержати широкий валик шва, електродом здійснюють поперечні коливання. При масовому виробництві однотипні вироби з кільцевими стиками можна зварювати автоматом (причому автомат повинен бути нерухомим, а виріб обертається із заданою швидкістю).

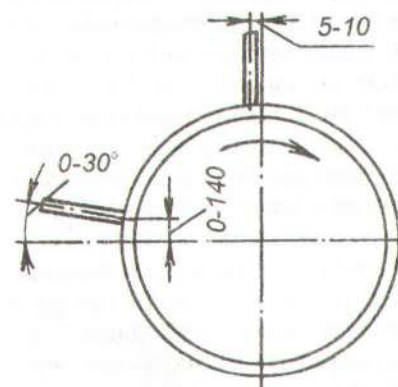


Рис. 9.21. Схема розташування електрода при автоматичному зварюванні у вуглекислому газі поворотних кільцевих стиків:

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

Кромки повинні бути точеними, розробка — V-подібною без притуплення. Зазор у стику не повинен перевищувати 0,8 мм, а неспівпадання 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: зварювальний 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).

Другий та наступні шари виконують дротом діаметром 2 мм, розташованим вертикально на вершину стику.

## 9.11. ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ВУГІЛЬНИМ І ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Процес зварювання вугільними електродами характеризується такими особливостями:

- температури плавлення і кипіння вугільних електродів досить високі й настільки близькі ( $T_{пл} = 3800^\circ\text{C}$ ,  $T_{кип} = 4200^\circ\text{C}$ ), що практично процес плавлення не 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 науглецювання 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 чутлива до різних зовнішніх впливів, потоків газів, вітру і т. д., а також сильно піддається магнітному дугтю.

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 подачею присаджувального матеріалу в дугу; з попереднім укладанням присаджувального матеріалу.

Зварювання без присаджувального матеріалу є найпростішим способом, який широко застосовують. При цьому дуга оплавляє кромки зварних деталей. Його застосовують для зварювання листів при з'єднаннях із відборткуванням, 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.

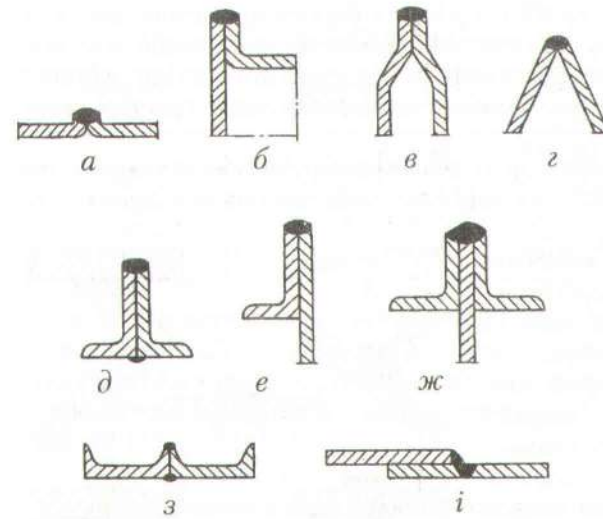


Рис. 9.22. Приклади застосування зварювання без присаджувального матеріалу:

*a* — стикове з'єднання листів товщиною 1–2 мм з відборткуванням кромки; *b* — приєднання штампованого днища до обичайки; *v* — з'єднання кожухів, емкостей; *z* — кутове з'єднання; *d, e, zh, z* — різні види з'єднань із кутників швелерів і листів; *i* — з'єднання внапуск

Зварювання тонких листів із подачею присаджувального матеріалу в дугу ведеться за схемою (рис. 9.23). При цьому зварник у лівій руці тримає присаджувальний пруток, а в правій — тримач із вугільним електродом. Факел дуги направляють на кінець присаджувального матеріалу, запобігаючи пропалу при зварюванні тонких листів. Цей спосіб ефективний при зварюванні кольорових металів і виправленні дефектів лиття.

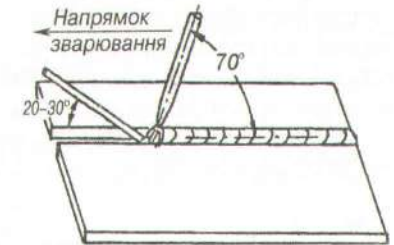


Рис. 9.23. Зварювання тонких листів з подачею присаджувального металу в дугу

Зварювання з подачею присаджувального матеріалу в дугу можна виконувати «лівим» і «правим» способами. При «лівому» способі (рис. 9.24 *a*) присаджувальний пруток розташовують між електродом та основним металом;

полум'я дуги направлено на основний метал. При «правому» способі (рис. 9.24 *b*) присаджувальний пруток розташовують між наплавленим валиком і вугільним електродом, а полум'я дуги направлено на розплавлений метал.

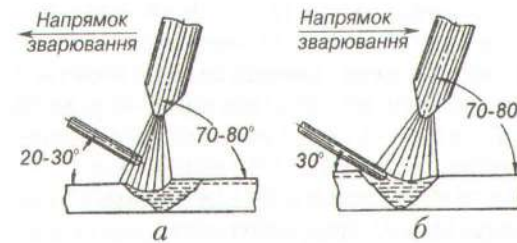


Рис. 9.24. Схема «лівого» (*a*) і «правого» (*b*) способів зварювання з подачею присаджувального матеріалу

## Режими зварювання графітовими електродами

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Швидкість зварювання, м/год
1,5	5	90–100	45
2	6	125–135	40
2,5	6-8	100–250	35
3	6-8	250-275	33

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).

## Режими 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

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

Зварювання з попереднім укладанням прутів або стрічок застосовують при виконанні стикових і кутових швів на металевих листах (рис. 9.25).

При цьому утворюється посилений шов за рахунок сплавлення кромки зварних листів і 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 розігрівався 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.

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 відбортуванням кромки	1	130	10	30
	2	200	10	40

Збільшення щільності струму можна допускати при використанні графітовими електродами, що тонші й зручніші в роботі. Орієнтовні режими зварних з'єднань із відбортуванням кромки при використанні графітових електродів приведено в табл. 9.10.

При зварюванні тонких листів вугільним електродом зовнішній вигляд шва кращий, ніж при зварюванні покритим металевим електродом.

Механічні властивості зварних з'єднань практично знаходяться на рівні властивостей основного металу.

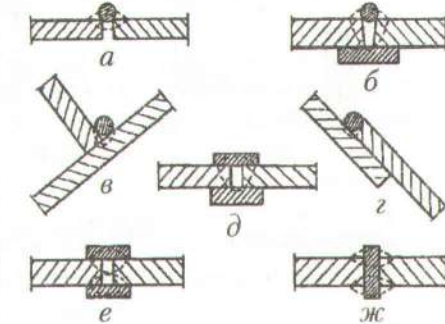


Рис. 9.25. Зварні з'єднання з укладанням присаджувального матеріалу:

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

## 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 розбрикування;
- наявність бризок на поверхні зварних виробів;
- низька якість поверхні шва (нерівності й груба лускатість);
- не завжди задовільні показники механічних властивостей металу шва, особливо ударної в'язкості при мінусових температурах.

**Механічні властивості металу шва і наплавленого металу при зварюванні дротом Св-08Г2С у суміші Ar + 20% CO<sub>2</sub>**

Основний метал	Зварний струм, А	Напруга на дугу, В	Границя текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість (Шарпі) Дж/см <sup>2</sup> , 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	55,1	145	76	56	37
Ст09Г2 (S = 25 мм)	300–320	29–30	490	595	29,3	70,3	196	135	93	65
Ст09Г2С (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 захисного газу становили 16–18 л/хв, виліт електрода — 18–20 мм. Наведені середні значення за результатами випробувань 3–5 зразків.

Досить високі також показники стійкості металу швів, зварених в аргонових сумішах, проти утворення кристалізаційних тріщин. Використання аргонових сумішей дозволяє досягти високих значень холодостійкості і стійкості проти утворення тріщин металу шва.

Зварювання в сумішах Ar + CO<sub>2</sub> і Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> можна виконувати у всіх просторових положеннях із зварювальним обладнанням, апаратурою й джерелами живлення для зварювання у вуглекислому газі. При цьому напруга дуги повинна бути на 2–3 В нижче порівняно із зварюванням у чистому CO<sub>2</sub> 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 струминне перенесення електродного металу. В табл. 9.13 наведені значення критичного зварювального струму, при якому розпочинається струминне перенесення, для різних діаметрів зварного дроту, полярності струму з використанням імпульсно-дугового процесу зварювання (ІДЗ) у суміші Ar + 20% CO<sub>2</sub>. Суміші на основі

Світовий досвід показує, що одним із ефективних шляхів удосконалення механізованого зварювання сталі плавкими електродами в окиснювальних захисних газах є використання сумішей захисних газів замість вуглекислого. З точки зору поєднання високих зварювально-технологічних характеристик та економічних показників найперспективнішими є суміші аргону з окиснювальними газами (кисень, вуглекислий газ): Ar + 20–25% CO<sub>2</sub> і Ar + 20–30% CO<sub>2</sub> + 3–7% O<sub>2</sub>. Такі суміші забезпечують оптимальне поєднання зварювально-технологічних характеристик, вартості виконання зварювальних робіт і якості зварних конструкцій.

Необхідно відзначити, що потрібна суміш Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> має високий окиснювальний потенціал порівняно з сумішшю Ar + CO<sub>2</sub> і забезпечує підвищену стійкість швів проти утворення пор від азоту. Тому її застосовують при зварюванні стиків із збільшеним зазором, металу із слідами окалини, 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 аргонових сумішах оптимального складу забезпечує:

- зменшення втрат електродного металу на розбризування в 3–4 рази;
- зниження трудоемкості при зачищенні основного металу від бризок у 8–10 разів;
- підвищення продуктивності праці зварників на 10–20%;
- можливість використання імпульсно-дугового процесу і технологічних прийомів, які підвищують продуктивність зварювальних робіт (зварювання на прямій полярності, 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 аргонових 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 + CO<sub>2</sub> і Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> можна використовувати стандартний зварювальний дріт Св-08Г2С і Св-08ГС за ГОСТ 2244 або їх закордонні аналоги, які застосовуються для зварювання в CO<sub>2</sub>. 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, валик 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 розбризкуванням забезпечують помітне зменшення втрат 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 нанесення імпульсів.

Застосування імпульсно-дугового процесу дозволяє використовувати дріт одного й того ж діаметра при багатьох варіантах технології зварювання, тоді як при зварюванні без імпульсів застосовують дріт різних діаметрів залежно від товщини металу, який зварюється, просторового положення шва, теплофізичних властивостей металу, який зварюється, та інших показників.

На сьогодні цей процес розвивається в промислово розвинутих країнах, які мають 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<sub>2</sub> дротом Св-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 ІЕЗ ім. Є. О. Патона джерело імпульсного струму І-169 за 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 приміщень виділяється 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;
- багатопрхідних швів товстостішового 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<sub>2</sub>) виробляють на заводі. Це стало можливим завдяки тому, що на металургійних і хімічних підприємствах України були введені в дію потужні повітророзподільні установки. На цих установках одночасно з киснем і азотом виробляли велику кількість побічного продукту — газу аргону або аргоно-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 розкиснити новий метал зварної ванни, за допомогою шлаку знизити вміст у шві газових пор. Шов буде мати високі пластичні властивості при плюсових і мінусових температурах.

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

Прихватки 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. Вплив режимів зварювання на геометричні розміри й форми шва такі ж, як і у вуглекислому газі.

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

Таблиця 9.14

#### Орієнтовні режими зварювання низьковуглецевих сталей відкритою дугою порошковим дротом ПП-АНІ

Положення шва в просторі	Діаметр порошкового дроту, мм	Напруга дуги, В	Сила зварювального струму, А	Швидкість зварювання, м/год	Виліт електрода, мм
Нижнє	2,5	22–25	250–270	12–14	10–20
	3,0	23–25	300–330	12–16	15–20
Горизонтальне	1,8	20–23	220–250	14–20	10–15
	2,0	22–25	240–270	16–20	12–18
	2,5	23–26	270–320	16–22	15–20
Вертикальне:					
зверху вниз	1,6	19–21	180–200	—	10–15
знизу вверх	1,6	20–21	160–180	—	10–15
знизу вверх	2,0	20–22	140–170	—	10–15

### 9.13.2. Техніка зварювання

Техніка напівавтоматичного зварювання порошковим дротом аналогічна техніці напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі. Вона мало відрізняється від техніки ручного дугового зварювання, але вимагає певних навиків при зварюванні порошковим дротом різних марок.

Зварювання ведеться короткою дугою, тому що при збільшенні її довжини збільшується розбризкування рідкого металу, погіршується його захист від кисню та азоту повітря, в дроті зростає вигоряння елементів, що призводить до утворення пор у наплавленому металі. Якщо дуга дуже коротка, падає напруга, що призводить до незадовільного формування шва і появи шлакових уключень.

Особливу увагу слід приділяти вильоту електрода. При його зменшенні мундштук сильно забризкується, до нього приварюється дріт, а у шві утворюються дефекти.

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

Колівальні 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 нахиляють 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 вигоряння легуючих елементів і насичення металів газами.

При використанні самозахисного дроту вигоряння 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 неповоротних стиків труб підприємства змушені були закупляти самозахисний порошковий дріт за кордоном за порівняно високими цінами, оскільки вітчизняна промисловість не випускала самозахисний дріт малого діаметра.

Тому в ІЕЗ ім. Є. О. Патона було створено самозахисний дріт марки ПП-АН60 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 відмінне відокремлення шлакової кірки, правильну форму швів, дозволяє проводити зварювання металоконструкцій в умовах монтажного майданчика у всіх просторових положеннях.

При зварюванні спостерігається незначне розбризкування 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 пластичність і в'язкість металу.

Легованим дротом суцільного перерізу за допомогою відкритої дуги можна зварювати метал, покритий окалиною, 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. Орієнтовні режими наведено в табл. 9.15.

Таблиця 9.15

**Орієнтовні режими механізованого зварювання самозахисним дротом суцільного перерізу Св-15ГСТЮЦА**

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Положення шва в просторі	Зварювальний струм, А	Напруга дуги, В
≥ 2	1,0	У всіх положеннях	150–170	23–25
≥ 4	1,2	Те ж	170–190	23–25
	1,6	Нижнє, вертикальне, горизонтальне	180–220	23–25
≥ 6	2,0	Нижнє	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.

**Контрольні запитання та завдання**

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 неплавкі 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 провару 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. «Лівий» і «правий» способи зварювання, їх особливості та відмінності.
22. Що дає застосування аргонових сумішей (Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)?
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, змінити технологію виробництва в багатьох галузях промисловості.

У суднобудуванні застосування зварювання під флюсом дозволило впровадити секційний спосіб побудови корпусів суден, що значно скоротило терміни їх будови.

Зварювання під флюсом широко застосовується й при будівництві нафтових резервуарів, виробництві сталевих труб великого діаметра, випуску двотаврових балок із широкими полчками. У промисловості успішно діють поточні лінії з масового випуску зварних конструкцій і виробів, обладнаних 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 відповідального призначення, які працюють в умовах глибокого холоду, під дією високих температур і тиску, в агресивних рідких і газових середовищах.

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

Напівавтоматичне зварювання доцільно використовувати не тільки при масовому виробництві однотипних виробів, але й при одиничному виробництві виробів із з'єднаннями значної протяжності та зручними для утримання флюсу.

Під флюсом недоцільно зварювати решітчасті конструкції з великою кількістю коротких з'єднань.

Промислова технологія зварювання під флюсом була розроблена в 1930–1940 рр. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона.

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;
  - горіння 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 сипучого зернистого флюсу (рис. 10.1).

Під дією тепла дуги 9 розплавляється основний метал 8, електродний дрід 1 і частина флюсу 5, який безпосередньо прилягає до зони зварювання. Електродний дрід подається вниз у зону зварювання з швидкістю його плавлення, плавиться та переходить у шов у вигляді окремих крапель. Одночасно з цим дрід пересувається вздовж зварних кромок у результаті чого проходить зварювання.

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

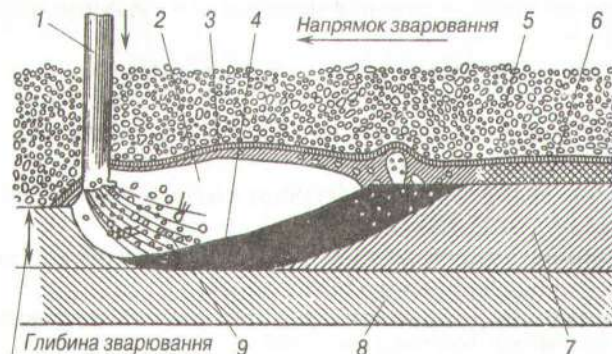


Рис. 10.1. Схема горіння зварної дуги під флюсом:

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

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

У порожнині створюється великий тиск газів, які відтісняють частину рідкого металу 4 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 й розчинені гази легше піднімаються на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення.

Нерозплавлений 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 відбортуванням, без скосу кромки, із скосом однієї або двох кромки, з двома скосами однієї або двох кромки. Скіс 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 флюсомідній 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;

**Ппш** — напівавтоматичне зварювання під флюсом із попереднім накладанням підварювального шва;

**Ппк** — напівавтоматичне зварювання під флюсом із попереднім підварюванням кореня шва.

Якщо різниця товщини перевищує значення, вказані в табл. 10.1, то при стиковому зварюванні на листі більшої товщини повинен бути зроблений скіс з однієї або двох сторін листа.

Таблиця 10.1

### Конструктивні елементи підготовлених кромки і виконаних швів автоматичним і напівавтоматичним зварюванням під флюсом

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромки	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Межі товщин зварних деталей, мм
			підготовлених кромки 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	КЗ			Апш; Ппш	8-20
Таврове	З двома скосами однієї кромки	T10			А; П	16-40
Внапуск	Без скосу кромки	H1			А; П	1-20

Позначення:  $S$ ;  $S_1$  — товщина металу, мм;  $b$  — зазор, мм;  $c$  — величина притуплення, мм;  $e$ ;  $e_1$  — ширина шва, мм;  $g$ ;  $g_1$  — висота посилення шва, мм;  $K$  — катет шва, мм;  $R$  — радіус заокруглення, мм;  $\alpha$  — кут скосу, град.

### 10.3. ПІДГОТОВКА КРОМОК ДО ЗВАРЮВАННЯ

Для підготовки кромки залежно від товщини металу використовують механізоване кисневе різання, механічне різання на ножницях, на відрізних верстатах і в штампах на пресах.

Підготовлені кромки перед збиранням повинні бути очищені від іржі, окалини, забруднень від слідів консервації, мастильно-охолоджувальних рідин, задилок 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 газополуменеву обробку.

Під автоматичне і напівавтоматичне зварювання деталі складають старанніше ніж при ручному зварюванні. При збиранні необхідно дотримуватись однакових розмірів зазорів, кутів розробки і притуплення кромки, бо при недотриманні цих параметрів можливе утворення непроварів і пропалів.

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

Зварювання слід починати на вхідних, а закінчувати на вихідних технологічних планках, які після вистигання шва видаляють.

### 10.4. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ТА АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Залежно від ступеня механізації окремих операцій, дугове зварювання може бути автоматичним і механізованим.

Автоматичним прийнято називати зварювання чи наплавлення з механізованим збудженням електричної дуги, підтриманням її стійкого горіння, подачею 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 з'єднання відбувається ручним способом.

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

### 10.5. ШЛАНГОВІ НАПІВАВТОМАТИ

Зварювальні шлангові напівавтомати класифікуються:

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

— за типом електродного дроту (суцільного перерізу, порошкового або водночас для дроту суцільного перерізу й для порошкового дроту);

— за способом регулювання швидкості подачі електродного дроту (плавним, ступінчастим або змішаним);

— за компоновкою — однокорпусні (механізм подачі вбудований в корпус джерела живлення) або з винесеним подавальним механізмом;

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

Значного поширення набули напівавтомати для дугового зварювання (розроблені в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України).

Заміна великої кількості елементів різноманітних конструкцій обмеженою їх кількістю різко знижує витрати на розробку, виготовлення та експлуатацію зварювального устаткування, значно спрощує ремонт. Крім того, за потреби розібрані модулі можна повторно і багаторазово використовувати при виготовленні чи модернізації іншого устаткування.

Шлангові напівавтомати поєднують універсальність і маневреність ручного зварювання з перевагами автоматичного зварювання під флюсом. Напівавтомат проводить тільки подачу електродного дроту в зону дуги, а дугу вздовж зварного шва переміщує зварник за допомогою електродотримача. Зварювання проводиться на підвищених щільностях струму (до 200 А/мм<sup>2</sup>), що дозволяє застосовувати електродний дріт діаметром 1,2–2,5 мм. Високі щільності струму підвищують температурний режим зварювання, коефіцієнт плавлення, глибину провару шва.

Внаслідок цього допускається деяке зменшення розробки кромки, що призводить до зменшення витрат електродного дроту на одиницю довжини шва. При цьому не тільки підвищується продуктивність праці, але й значно скорочується витрата електроенергії. На виробництві переважно застосовують шлангові напівавтомати ПШ-125, ПШ-42, ПШ-109 та А-929 (ПШ-118).

Шланговий напівавтомат складається з джерела живлення, шафи керування, касети з електродним дротом, механізмом подачі дроту, гнучкого шланга, який закінчується тримачем. Бухту електродного дроту направляють у касету тільки після старанного очищення від бруду, масла 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 роликом просувається електродний дріт. Переключаючи шестерні коробки швидкостей можна змінювати швидкість подачі електродного дроту в межах 78–600 м/год. Дріт подається через шланговий провід (рис. 10.2).

Шланговий провід довжиною 3,5 м і діаметром 27 мм призначений для подачі електродного дроту по центральному каналу в зону дуги. У шланг вмонтований провід для підведення зварювального дроту 4 і проводу керування й вимкнення електродвигуна механізму подачі 3; включення та виключення зварювального струму.

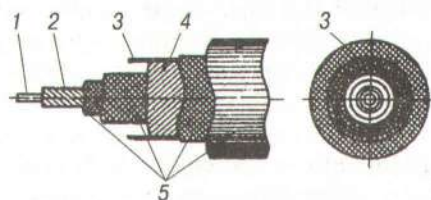


Рис. 10.2 Шланговий провід:

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

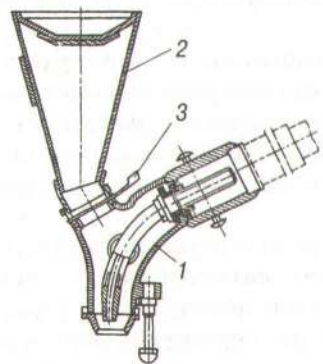


Рис. 10.3. Тримач для зварювання під флюсом:

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

Тримач (рис. 10.3) — це трубчастий мундштук 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 вмикання і вимкнення системи керування. У напівавтоматах ПШ електродвигун для подачі електродного дроту і струм зварювальної мережі включаються при замиканні зварювального дроту на виріб; процес зварювання закінчується при віддаленні тримача від поверхні зварного виробу, тобто обривом зварної дуги.

Шланговий напівавтомат 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. Швидкість подачі електродного дроту встановлюється реостатом, включеним у мережу

обмотки електродвигуна. На візку закріплений бункер з пристроєм для пневматичної подачі флюсу в зону зварювання. Повітря використовують від повітряної мережі або компресора. На панелі візка встановлені вимірювальні прилади і пристрої керування.

Для підвищення продуктивності зварювання при малих діаметрах зварювального дроту Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблено спосіб шлангового багатоелектродного зварювання. Такий спосіб передбачає подачу в зону дуги при однаковій швидкості одночасно трьох електродних дротів діаметром 1,6–2 мм, що дозволяє застосовувати зварювальний струм до 800–1000 А і тим самим значно підвищити продуктивність зварювання. Важливою перевагою цього способу є можливість легування металу зварного шва за допомогою легованого дроту.

## 10.6. ЗВАРЮВАЛЬНІ АВТОМАТИ

У автоматах зварювальною головкою називається механізм, який забезпечує підведення зварювального струму до електродного дроту, збуджує електричну дугу, подає дріт у зону її горіння і 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 виробі, 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 дротяним (суцільного перерізу чи порошковим), стрічковим (суцільного 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;

— родом застосованого струму — для зварювання постійним струмом, змінним струмом, змінним і постійним струмом;

— способом подачі електродного дроту — із подачею, залежною і незалежною від напруги на дузі;

— способом регулювання швидкості зварювання (для самохідних апаратів) і подачі електродного дроту — з плавним, плавно-ступінчастим і ступінчастим регулюванням;

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

До складу зварювальних і наплавальних автоматів входять мундштуки чи пальники (зварювальний інструмент), механізм подачі електродного чи присаджувального матеріалу, механізм переміщення вздовж лінії з'єднання, регулювальних, допоміжних і коректувальних переміщень, пристрої для розміщення присаджувального чи електродного матеріалу; флюсова апаратура; газова апаратура; система керування; джерела зварювального струму; засоби техніки безпеки.

Важливою умовою забезпечення нормального стійкого процесу автоматичного зварювання є рівність швидкості подачі електродного дроту і 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 змінюється дуговий проміжок. Для того, щоб процес зварювання протікав стійко, а довжина дуги зберігалася постійною, застосовують автомати двох типів: із змінною швидкістю подачі електродного дроту, яка залежить від величини дугового проміжку, та з постійною подачею електродного дроту. Автомати зі змінною швидкістю подачі електродного дроту мають складнішу електричну схему і тому їх застосовують обмежено (при низьких напругах, малих зварювальних струмах).

У зварювальному виробництві частіше застосовують автомати із постійною швидкістю подачі електродного дроту. Вони працюють за схемою, запропонованою в 1942 р. В. І. Дятловим (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона). Електродвигун, який через редуктор і ролики забезпечує подачу електродного дроту, живиться безпосе-

редньо від мережі. Тому швидкість обертання електродвигуна буде постійною, незалежно від довжини (відповідно, й напруги) дуги.

Саморегулювання здійснюється наступним чином. Якщо в процесі зварювання довжина дуги зменшиться (наприклад, через нерівності на поверхні зварних 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 видовження 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 двигуном 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 зовнішнього програмуючого пристрою.

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

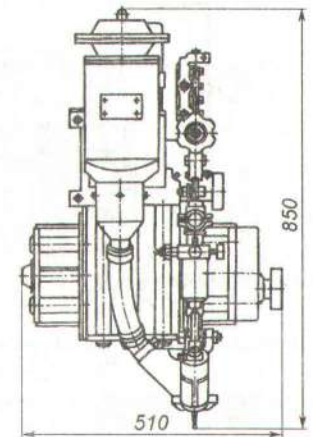


Рис. 10.4. Автомат АД-202

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. Ним можна також зварювати прямолінійні, колові й стикові шви напусткових 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 притискного), 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 струмопідвідних мундштуки. Для електродного дроту діаметром 1,6–2 мм застосовують трубчатий мундштук із бронзовим наконечником, який забезпечує стійкий електричний контакт з електродним дротом. Для електродного дроту з більшим діаметром застосовують мундштук із двома бронзовими контактами, між якими переміщується дріт. Випрямлення електродного дроту здійснюється спеціальним правильним механізмом, який складається з трьох роликів.

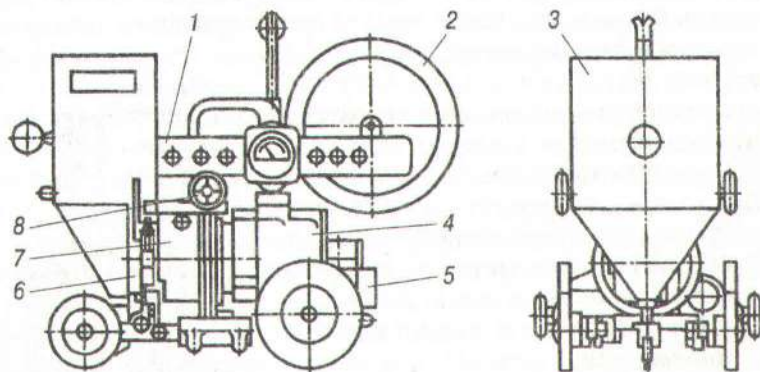


Рис. 10.5. Зварювальний трактор ТС-17 М:

1 — пульт керування; 2 — касета для електродного дроту; 3 — бункер для флюсу; 4 — електродвигун; 5 — 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 патрубку, 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» копірувальним елементом служить закріплений на штанзі ролик, який котиться по куту зварного шва. Трактор має трикноповий пульт керування. Крім того є додатковий пульт керування, який використовується при зварюванні швів на циліндричних виробах (котли, цистерни, резервуари) для керування електродвигуном стенда, на якому обертається зварний виріб.

### 10.6.2. Зварювальний автомат АДФ-1250

АДФ-1250 призначений для зварювання плавким електродом з'єднань із вуглецевих сталей під флюсом устик з розробкою кромок і без розробки, кутових швів похилим електродом, а також напусткових швів. Останні можуть бути прямолінійними й кільцевими. У процесі роботи трактор переміщується по виробу або по вкладеній на ньому напрямній колії.

Зварювальний трактор комплектується джерелом живлення ВДУ-1250.

Зварювальний трактор має:

- плавне регулювання швидкості подачі електродного дроту (зварювального струму);
- плавне регулювання швидкості переміщення візка (швидкості зварювання);
- дистанційне включення і плавне регулювання зварювальної напруги;
- регулювання зварювальної головки:
  - а) навколо вертикальної осі несучої колонки на кут  $90^\circ$  з фіксацією положення;
  - б) навколо своєї повздовжньої осі на кут  $45^\circ$  з фіксацією положення;
  - в) по вертикалі і горизонталі на 50 мм від середнього положення за допомогою двох гвинтових суппортів;
- переміщення зварювальної головки в комплекті з блоком керування, бункером і касетою вздовж несучої колони 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, виліт електрода, нахил електрода вздовж і поперек шва, нахил виробу, марка флюсу та його грануляція, розробка кромки, 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, незначно зростає ширина шва, а коефіцієнт форми шва зменшується. Основні розміри шва в поперечному перерізі зображено на рис. 10.6.

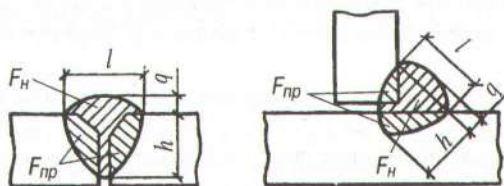


Рис. 10.6. Основні розміри шва в поперечному перерізі:

$l$  — ширина;  $q$  — висота посилення;  $h$  — глибина проплавлення;  $F_H$  і  $F_{пр}$  — площі шва, утворені за рахунок розплавлення електродного металу і проплавлення основного металу

Для забезпечення стійкого процесу зварювання й підтримання визначеної довжини дуги одночасно із збільшенням зварювального струму необхідно підвищити швидкість подачі електродного дроту, а це спричиняє збільшення висоти посилення шва.

При підвищенні зварювального струму при інших незмінних умовах зменшується кількість розплавленого флюсу.

Залежність глибини проплавлення від зварювального струму виражається формулою:

$$h = K \cdot I_{зв},$$

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 втавр і встик з розробкою кромки	наплавлення і зварювання встик без розробки кромки
АН-348А	Змінний	5	1,5	1,1
АН-348А	Змінний	2	2,0	1,0
АН-348	Постійний зворотної полярності	5	1,75	1,1
АН-348	Постійний прямої полярності	5	1,25	1,0
ОСЦ-45	Змінний	5	1,55	1,15

При збільшенні діаметра дроту при незмінному струмі (тобто із зменшенням щільності струму) посилюється блукання активної плями по перерізу кінця електрода і по поверхні зварювальної ванни, внаслідок чого ширина шва зростає, а глибина проплавлення зменшується (табл. 10.3).

Таблиця 10.3

Вплив щільності струму (діаметр електрода) на форму шва

Показники	Значення показників при зварювальному струмі, А							
	700–750			1000–1100			1300–1400	
Діаметр електрода, мм	6	5	4	6	5	4	6	5
Середня щільність струму, А/мм <sup>2</sup>	26	36	58	38	52	84	48	68
Глибина проплавлення, мм	7,0	8,5	11,0	10,5	12,0	16,5	17,5	19,0
Ширина шва, мм	22	21	19	26	24	22	27	24
Коефіцієнт форми шва	3,1	2,5	1,7	2,5	2,0	1,3	1,5	1,3

Зменшення діаметра дроту при незмінному струмі (збільшення щільності струму) призводить до зворотного явища — зосередження активної плями на осі електрода і зменшення блукання дуги поверхнею зварювальної ванни. Внаслідок цього глибина проплавлення зростає, а ширина шва зменшується.

### 10.6.3. Напруга дуги

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

Із підвищенням напруги дуги збільшується її довжина й рухливість. При цьому зростає частка тепла, що йде на плавлення поверхні основного металу та флюсу. Це призводить до значного збільшення ширини шва, причому глибина провару зменшується, що особливо важливо при зварюванні тонкого металу.

Із підвищенням 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:  $I_{зв} = 600-640\text{А}$ ;  $d_{дел} = 5\text{ мм}$ ;  $V_{зв} = 24\text{ м/год}$ ; флюс АН-3

Таблиця 10.5

#### Вплив напруги дуги на ширину проплавлення при зварюванні 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:  $I_{зв} = 550\text{А}$ ;  $V_{зв} = 24\text{ м/год}$ ;  $d_{дел} = 5\text{ мм}$ ; флюс АН-348.

Зварювальний струм і напруга дуги протилежно впливають на форму шва. Тому для одержання шва оптимальної форми збільшення зварювального струму при збільшеній товщині 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 і ОСЦ-45)
180-300	32-34	—
300-400	32-35	—
500-600	36-40	—
600-700	—	38-40
700-850	—	40-43
850-1000	—	40-43
1000-1200	—	40-44

### 10.6.4. Рід і полярність струму

Полярність постійного струму неоднаково впливає на глибину проплавлення, що пояснюється різною кількістю тепла, що виділяється на катоді (мінус) і аноді (плюс). На аноді тепло 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 зростання кінетичної енергії позитивно заряджених іонів, які бомбардують катод, більше тепла буде виділятися на катоді.

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

Із збільшенням швидкості зварювання стовп 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 ширини затверділого валика 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 (дводугове зварювання, зварювання трифазною дугою та ін.).

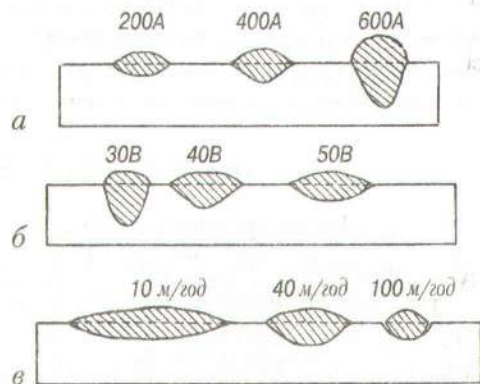


Рис. 10.7. Вплив сили зварювального струму (а), напруги дуги (б), і швидкості зварювання (в) на геометричні розміри і форму шва

### 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 непровари 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 прошарку рідкого металу збільшується, а глибина провару зменшується. Також зменшується висота посилення шва, але помітно зростає його ширина. Це дозволяє використовувати зварювання кутом уперед. При зварюванні кутом уперед краще проплавляються кромки, що дає можливість проводити зварювання на підвищених швидкостях.

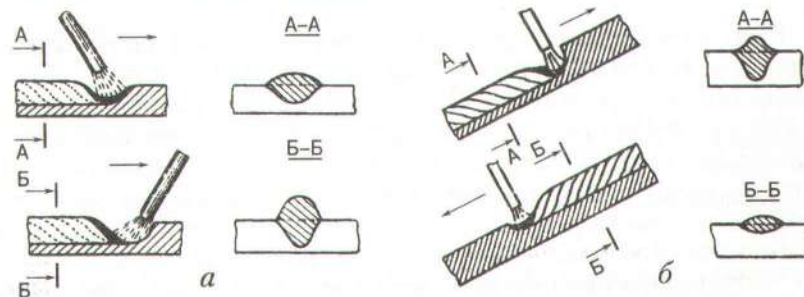


Рис. 10.8. Вплив кута нахилу електрода (а) і кута нахилу виробу (б) на геометричні розміри і форму шва

При зварюванні кутом назад рідкий метал тиском газів витісняється з-під дуги. Товщина прошарку рідкого металу під нею 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 вгору (на підйом) або зверху вниз (на спуск).

При зварюванні на підйом рідкий метал під дією власної маси витікає з-під дуги, прошарок 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 підтікає під дугу, що призводить до збільшення товщини прошарку 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 натікає 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 (насіпна) маса. Флюси з малою об'ємною масою (крупнозернисті, скло- та пемзовидні) 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 розташовується в них. Залежно від співвідношення перерізу зазору і наплавленого металу, шов може бути з посиленням, без посилення або послаблений. Глибина проплавлення збільшується настільки, наскільки зростає послаблення шва. Якщо ширина зрізу кромок не перевищує ширини проплавлення при наплавленні валика на рівну поверхню, то збільшення довжини розробки може тільки викликати непровар у корені шва.

**Вплив зазору і розробки кромок на форму шва.** Якщо ширина розробки значно перевищує ширину наплавленого валика, то глибина проплавлення шва збільшується настільки, наскільки зростає послаблення шва (рис. 10.9). Оскільки товщина автоматичного шва не залежить від величини зазору і величини розробки кромок, кутовий шов таврового з'єднання можна прирівняти до стикового шва, що виконується в розробку кромок із кутом розкриття  $90^\circ$ .

**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.

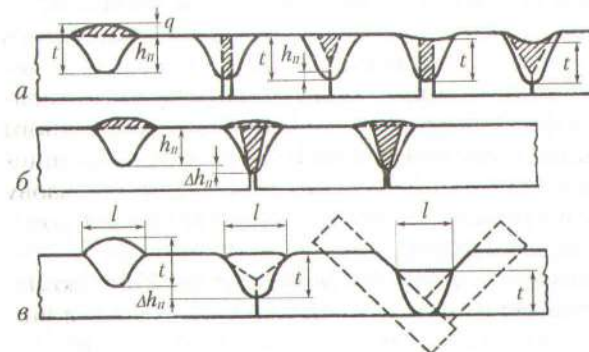


Рис 10.9. Вплив зазору і розробки кромок на форму шва:

*a* — вплив зазору і розробки; *b* — вплив глибини розробки; *c* — 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; зварювання спареним електродом, коли електроди розміщені впоперек напрямку зварювання. При їх послідовному розміщенні глибина проплавлення, навпаки, зростає.

Одержання якісного шва при однобічному зварюванні з формуванням зворотного валика є складним завданням, тому що проплавлення металу на всю товщину може призвести до його витікання із зварної ванни та утворення пропалу. 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 частиною кромки. 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 пропалів. Щоб запобігти цьому, використовують різні прийоми, що сприяють формуванню кореня шва. Для утримання зварювальної ванни застосовують такі технологічні прийоми: зварювання на флюсовій подушці, міднофлюсовій підкладці, на тимчасових сталевих підкладках і таких, що залишаються. Крім того, застосовують ручне підварювання кореня шва, зварювання «на вазі» при зазорі, меншому 1 мм (рис. 10.10).

Зварювання однобічних швів можна виконувати за попереднім ручним або автоматичним підварюванням. Однобічне зварювання на сталевій підкладці, що залишається, застосовується, коли воно допускається за експлуатаційними умовами. Для одношарових швів товщина підкладки становить 30–40% товщини металу, для багатшарових швів дорівнюватиме товщині першого шару. При використанні для зварювання змінних мідних підкладок якість шва залежить від надійності підтискання до цих кромки. При зазорах вище 0,5 мм розплавлений метал може витікати з нього, що призво-

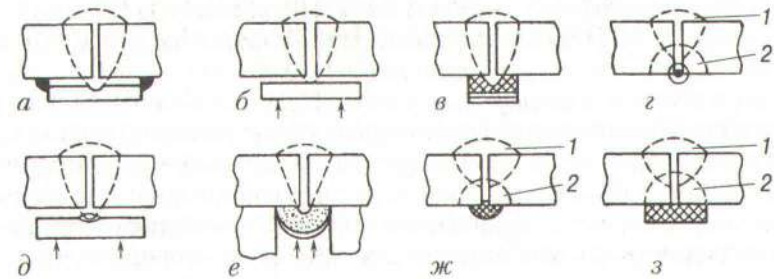


Рис. 10.10. Схеми пристроїв для утримання зварювальної ванни та шлаку й формування зворотного валика при зварюванні під флюсом:

*a* — підкладка, що залишається; *б* — тимчасова підкладка; *в* — гнучка стрічка; *г* — ручне підварювання; *д* — міднофлюсова підкладка; *е* — флюсова подушка; *ж* — запакування зазору вогнестійким матеріалом; *з* — азбестова підкладка; *a-v, 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 засипати флюс — так виконують зварювання на міднофлюсовій підкладці. Однобічне зварювання на флюсовій подушці при щільному підтисканні флюсу забезпечує повне проварювання кромки і добре формування кореня шва при меншій точності складання кромки завтовшки 2 мм і вище. Флюс під стиком підтискується повітрям, яке подається в шланг, а при зварюванні кільцевих швів — спеціальною штучною стрічкою. При протіканні флюсу зварювальні листи від перекоосу утримують спеціальними притисками або магнітами на спеціальних стендах.

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

В однобічних швах не завжди забезпечується добре формування кореня шва. Тому у відповідальних конструкціях використовують зварювання з обох боків. При цьому перші валики в коренях швів мають перекривати один одного на 2–5 мм. Щоб запобігти протіканню розплавленого металу в зазор між кромками 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 переварювати.

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

При зварюванні «у човник» можна одержати одношаровий шов або кожен шов у багатошаровому 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 не реплавляється при зварюванні основного шва. При положенні «у човник» техніка зварювання не відрізняється від техніки зварювання стикових швів із розробкою кромки; за один прохід можна зварити шов з катетом до 14 мм.

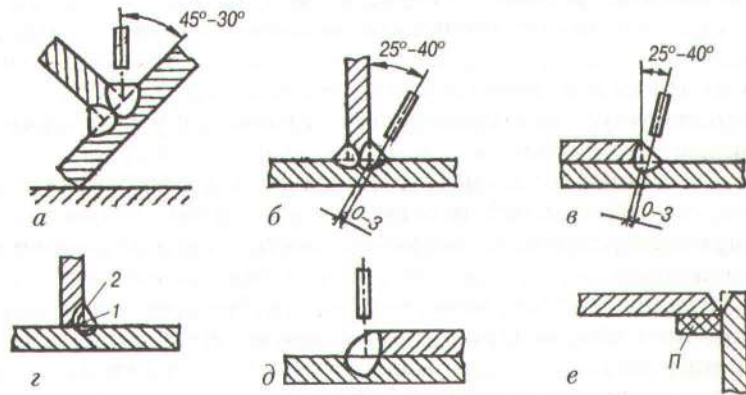


Рис. 10.11. Схема зварювання кутових швів:

*a, d* — зварювання вертикальним електродом таврового з'єднання «в човник» і напусткового з'єднання; *б, в* — зварювання похилим електродом таврового і напусткового з'єднань; *z* — послідовність (1, 2) зварювання багатопрохідних швів; *е* — встановлення підкладки П у кутівому з'єднанні

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 кромки. Для забезпечення провару при різній товщині зварювальних елементів зварювання може виконуватися в несиметричний «човник» або несиметрично нахиленим електродом. Для запобігання підрізу при зварюванні нахиленим електродом його зміщують (рис. 10.11 *б, в*) Послідовність зварювання багатопрохідних швів вказано на рис. 10.11 *z*. У напусткових з'єднаннях при товщині верхнього листа до 8 мм зварювання можна вести вертикальним електродом з оплавленням верхньої кромки (рис. 10.11 *д*). Кутіві з'єднання можна зварювати вертикальним електродом з мідною підкладкою (рис. 10.11 *е*).

## 10.9. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ НАПІВАВТОМАТІВ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для забезпечення безперебійної і довготривалої роботи напівавтоматів, а також для своєчасної ліквідації дрібних несправностей 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 струмопідводом, наконечник слід замінити;
- перевірити місце кріплення мундштука до шлангового кабелю. Мундштук повинен бути щільно нагвинчений на наконечник кабелю і мати сталий електричний контакт;
- оглянути змінне сопло зварювального пальника. При забрудненні сопла бризками його необхідно зачистити. Пальник повинен бути щільно затиснутим і не прокручуватись;
- перевірити стан контактів реле і контактів у місцях підключення проводів та у випадку підгоряння 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 долити її;
- очистити від бруду канал спіралі по якому подається електродний 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 щіток електродвигуна механізму подачі; виявлені несправності усувають.

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

Неполадки зварювальних напівавтоматів, причини та способи їх ліквідації наведені в таблиці 10.7.

Таблиця 10.7

**Несправності в роботі напівавтоматів, їх причини та способи усунення**

Несправності, зовнішні прояви	Можливі причини	Способи усунення
При включенні пускової кнопки схема спрацьовує, але дуга не запалюється	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 нерівномірна подача електродного дроту при нормальній роботі двигуна подаючого механізму	Слабкий тиск електродного дроту верхніми притискними роликками Велике спрацювання ведучих роликів Заїдання електродного дроту в наконечнику зварювального пальника Багато дрібних згинів зварювального пологого кабелю	Відрегулювати тиск притискних роликів зміною зусиль спіральних пружин Поміняти місцями половинки притискних роликів або замінити новими Прочистити наконечник, а у випадку його підгоряння або надмірного спрацювання замінити новим Розташувати пологий кабель так, щоб згини були плавними
Корпус зварювального пальника знаходиться під напругою	Пробита ізоляція між корпусом пальника і контактним наконечником Між контактним наконечником і корпусом пальника потрапили металеві предмети	Перевірити стан ізоляції й відновити її Видалити металеві предмети

Закінчення таблиці 10.7

Несправності, зовнішні прояви	Можливі причини	Способи усунення
У процесі зварювання електродний дріт утворює петлю між подаючими роликками і вхідним штуцером пологого кабелю	Велика віддаль між подаючими роликками та вхідним штуцером пологого кабелю	Наблизити вхідний штуцер пологого кабелю до подаючих роликів на відстань 1–2 мм
При нормальному працюючому двигуні подачі електродного дроту періодично обривається 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
Швидке спрацювання подаючих роликів	Велика швидкість подачі електродного дроту Надмірне притискання притискних роликів	Зменшити швидкість подачі електродного дроту Послабити натиск пружин
У напівавтоматах із напівавтоматичною подачею флюсу припиняється подача флюсу в зварювальну головку	Забруднюється інжектор або флюсова трубка У флюсі міститься велика кількість флюсових голок Недостатній тиск стиснутого повітря	Прочистити інжектор, трубку і просушити флюс Дробити флюс в шаровому млині з наступним відсівом флюсового пилу Збільшити тиск
При зварюванні в захисних газах спостерігається пористість у металі шва	Поганий захист зони зварювання Підвищена вологість газу Підвищена напруга на дузі Невідповідність марки дроту	Перевірити якість газового захисту Перевірити якість захисного газу, поміняти балон Зменшити напругу і встановити її згідно режиму Уточнити хімічний склад дроту
Немає витоку газу із сопла при відкритому редукторі й тиску в балоні	Отвір редуктора закупорився льодом через відсутність підігрівача газу Перетиснута або обірвана газова магістраль Не спрацював відсікач газу Вихідний отвір газового сопла закритий бризками	Відігріти редуктор і включити підігрівач Ліквідувати перетиск або обрив Перевірити наявність живлення електричного магніту 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 кромок 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 шлангові напівавтомати?
13. Яка будова шлангового напівавтомата ПДШ-500?
14. Які операції включають контрольно-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 захисного газу для зварювання під флюсом?

## ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

### 11.1. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Метод електрошлакового зварювання (ЕШЗ) — це принципово новий спосіб зварювання плавленням. Винайшов його доктор технічних наук Г. Б. Волошкевич, під керівництвом якого в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона були проведені випробування та інженерні розробки техніки й технології зварювання. Це дозволило в короткі терміни здійснити застосування ЕШЗ при виготовленні товстостінних зварних металоконструкцій (валів гідротурбін, станин потужних пресів, бандажів обертових печей, рам шоккових дробилок), при монтажі великих машин і конструкцій.

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

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

За допомогою ЕШЗ і плавлення можна одержати біметалеві заготовки, облицьовувати робочі поверхні товстостінних посудин антикорозійними металами, відновлювати деталі машин. ЕШЗ використовують для виготовлення виробів із низьковуглецевих, низьколегованих, середньолегованих сталей, чавуну, титану, алюмінію, міді та їх сплавів. Раніше для металу товщиною понад 50 мм використовували багатопрохідне дугове зварювання. Наприклад, автоматичне зварювання під флюсом металу товщиною 300 мм виконували, накладаючи зварний шов у 180 шарів, а з ЕШЗ таке 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 використовують у 10–20 разів менше зварювального флюсу, ніж при звичайному зварюванні під флюсом, оскільки кількість флюсу, що подається в зону зварювання, визначається кількістю шлаку, який витрачається на утворення тонкої шлакової кірки на посиленнях шва;

5. Завдяки малій витраті флюсу помітно зменшується кількість тепла, яке витрачається на його плавлення, і відповідно при електрошлаковому зварюванні раціональніше використовується електрична енергія;

6. ЕШЗ виконується таким чином, що над кристалізованим металом шва завжди знаходиться рідкий метал і шлак. Завдяки цьому більш повно проходить дегазація металу шва і в ньому рідко утворюються пори, навіть коли кромки зварного металу ржаві, а флюс вологий;

7. Наявність рідкого металу над кристалізованим металом шва сприяє витісненню з нього шкідливих домішок. 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 багатошаровому зварюванні товстого металу дефекти, як шлакові вclusions;

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 біляшовній 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 поліпшеними 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  $30^\circ$ );

— 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 суцільно литому і суцільно 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 електропровідний 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 повзунами простір подається один або декілька електродів 6, які в процесі плавлення заповнюють рідким металом зазор між кромками зварних деталей 1. На початку зварювання на західну планку 7 засипають флюс, потім включають подачу електродного дроту і збуджують електричну дугу. Після розплавлення флюсу та утворення шлакової ванни 5 рідкий флюс заливає і гасить дугу. При цьому дуговий процес переходить в електрошлаковий. Електричний струм починає проходити через шлакову ванну, нагріваючи її до температури  $2500^\circ\text{C}$  і вище. За рахунок тепла, яке виділяється в шлаковій ванні, розплавляються

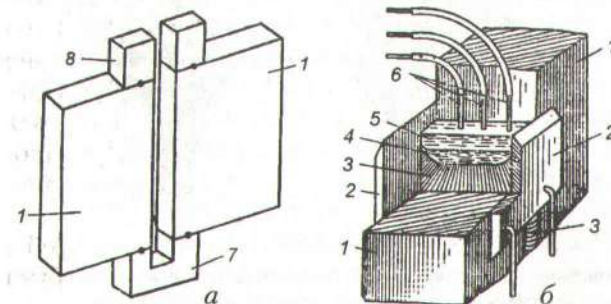


Рис. 11.1.  
Електрошлакове зварювання:

а — збирання під зварювання; б — схема процесу зварювання; 1 — зварні деталі; 2 — формуючі повзуни; 3 — зварний шов; 4 — металева ванна; 5 — шлакова ванна; 6 — електроди; 7 — західна планка; 8 — вихідна планка

електродні дроти, розплавлений флюс (шлак) підтримується в рідкому стані, а зварні кромки оплаваються. Внаслідок відведення тепла зварними деталями й мідними повзунами металева ванна 4 твердне і утворюється зварний шов 3. Електродні дроти та формулючі повзуни зв'язані з ходовою частиною електрошлакової установки 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 різакром 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 зворотно-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.

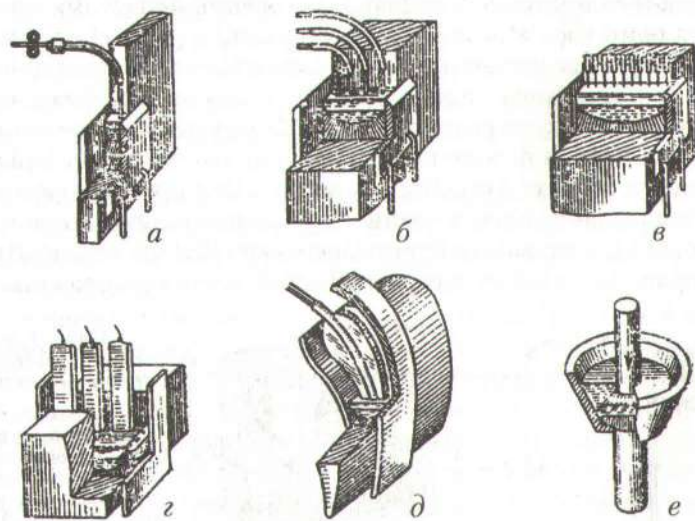


Рис. 11.2. Схема способів ЕШЗ:

а — одноелектродне; б — трьома електродами; в — багатоелектродне; г — пластинчастим електродом; 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) поєднує зварювання дротяним і пластинчастим електродом. У пластинчастому електроді роблять пази, або приварюють трубки для подачі електродного дроту. При зварюванні пластина нерухома; по плавкому мундштуку подається й плавиться дріт. В один мундштук можна подавати декілька дротів і зварювати шви складного криволінійного профілю.

Стикове електрошлакове зварювання (контактно-шлакове) (рис. 11.2 е) виконують без присаджувального матеріалу. Струм підводять безпосередньо до стрижнів, які зварюють. Після утворення шлакової 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 підготовляють машинним різанням. При більшій товщині металу, а також для кільцевих швів кромки обробляють механічним способом.

При збиранні стикових з'єднань зміщення кромок не повинно 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 депланації листів використовують шайби-пластини з двома круглими отворами чи інші пристрої. Ці пластини пропускаються в зазор між листами, а в отвір ( $d \approx 40$  мм) забиваються циліндричні клини зі скосом.

Перед зварюванням збиральні пристрої видаляють і замінюють закріплюючими пристроями. Найчастіше це скоби, що приварюються з тильного боку стику. При великій товщині листів, коли швидкість зварювання невелика, замість скоб можна використовувати пластини, приварені однобічними 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 кінця 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: механізм подачі і переміщення електродів; механізми переміщення апарата вертикально вздовж стику; пристрій для примусового утримування зварювальної ванни в зазорі між зварними кромками. 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. Виключення становлять тільки мундштуки, що вводяться в зазор або розташовуються поза ним.

Введення мундштука в зазор спричинює зменшення вильоту електрода і підвищення точності його напрямку, що досягається за допомогою коректування напрямку.

Механізм зворотно-поступального переміщення електродів у зазорі, відповідно до товщини зварювального металу, аналогічний описаним раніше. Причому механізм переміщення електрода 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 *a, 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 ходового механізму. Можна також застосовувати магнітні притискачі, але вони небезпечні.

Пристрій для примусового утримування зварної ванни в зазорі між зварними кромками називають формуючими повзунами. Їх виготовляють з міді (найчастіше), графіту або сталі (для зварювання алюмінію). Всі повзуни охолоджуються водою, а їх конфігурація відповідає зварному з'єднанню (стиковому, кутовому або напультковому).

Апарати з пластинчатими електродами або плавкими мундштуками застосовують для зварювання товстішого металу. Апарати з дротяним електродом є найуніверсальнішими та мобільними, бо

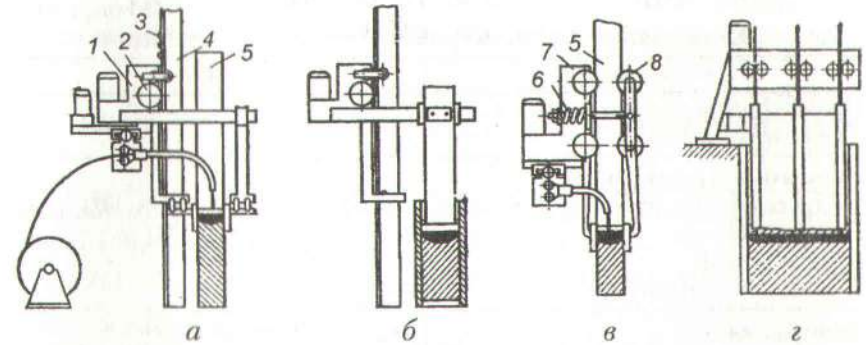


Рис. 11.3. Принципові схеми будови апаратів для електрошлакового зварювання:

*a, б* — рейкові апарати для зварювання дротяним і пластинчатим електродом; *в* — безрейковий апарат; *г* — підвісний апарат для зварювання плавким мундштуком; 1, 7, 8 — візок ходового механізму; 2 — привідна шестерня; 3 — рейка рейкового шляху; 4 — рейка; 5 — зварні кромки; 6 — притисна пружина

апарати з плавким мундштуком (рис. 11.3 *г*) не мають механізму переміщення вздовж зварних кромок. Вони оснащені механізмами подачі електродів, струбцинами для закріплення апарата на виріб, струмопідводом, пультом керування і котушкою для зварювального дроту (в даному випадку чотири). Струбцина електрично ізолювана від апарата і має п'ять ступенів свободи для точного встановлення мундштука в зазорі і напрямку дроту при зварюванні. Якщо апарат неможливо закріпити на виріб, 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 стояка, на якому кріпляться головка та пристрій для підвіски плавкого мундштука й підведення до нього зварювального струму. Стояк установлено на системі супортів, які забезпечують правильне розміщення плавкого мундштука в зазорі між зварювальними кромками.

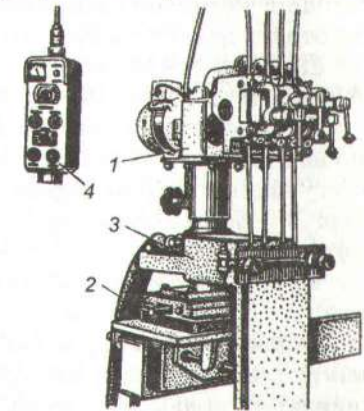


Рис. 11.4. Апарат А-1304 для електрошлакового зварювання плавким мундштуком:

1 — механізми подачі електродів; 2 — струбцина; 3 — струмовідвід; 4 — пульт керування

Основне обладнання для електрошлакового зварювання наведено в таблиці 11.1

Таблиця 11.1

## Обладнання для електрошлакового зварювання

Найменування	Марка
Напівавтомати для зварювання дротяними електродами	A-671P, A-681
Автомати для зварювання : дротяними електродами, рейковими безрейковими пластинами плавким мундштуком	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 мундштуки, як правило, мають такий же хімічний склад, як і зварні заготовки або близькі до нього.

Для ЕШЗ використовують такі флюси: АН-8, АН-8М, АН-22, АН-25, АН-348А, АНФ-1П, АНФ-5, АН-15, АН-18, 48-ОФ-6.

Для початку електрошлакового процесу застосовують електропровідний флюс АН-25 у твердому стані. Вологий флюс перед застосуванням потрібно прожарити в електричній печі при температурі 300–700°C протягом 1–2 год, товщина флюсу повинна становити 80–100 мм.

Основні матеріали та режими для електрошлакового зварювання сталі при прямолінійних стиках відображено в таблиці 11.2.

**Основні параметри ЕШЗ:** ширина зазору між зварними кромками; розміри електрода (діаметр дроту або переріз пластини); швидкість подачі електрода; сила зварювального струму; напруга на шлаковій ванні; глибина шлакової ванни й дозування подачі флюсу; кількість електродів та їх розташування; величина сухого вильоту електрода; рід зварювального струму; швидкість поперечного зворотно-поступального переміщення електродів; віддаль і витримка їх біля повзунів; 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-

Таблиця 11.2

## Матеріали й режими для ЕШЗ сталі при прямолінійних стиках

Марка сталі	Швидкість подачі дроту діаметром 3 мм		Рекомендована марка електродного дроту	Марка флюсу	Підігрів до температури, °С
	1·10 <sup>-3</sup>	м/год			
M16С, Ст 3, 20, 16 ГС, 22К, 25Л, 092 ГС	69	250	Св10Г2 Св-08Г2	АН-8М, АН-8	—
25 ГС, 25 ГСЛ 10ХСНД, 10ХГСНД	69	250	Св-093Г2СМ	АН-8М, АН-8, АН-22, ФЦ-7	—
35, 35Л, Ст 5	62	225	Св-08ХГ2СМ	АН-8М АН-8, АН-22	200
20Х2МА, 14ГХ2ГМР	62	225	Св-08ХЗГ2СМ	АН-8, АН-22	350
14ХМНДФР	55	200	Св-0ХГН2МЮ	АН-8, АН-8М, АН-22	—

зводить до зменшення об'єму шлакової ванни, температури її розігріву, зменшення глибини проплавлення, погіршення форми ванни рідкого металу, а це може спричинити появу осьових тріщин.

Виникає можливість короткого замикання струмопідвідних мундштуків із виробом. Збільшуються витрати електродного металу, зменшується продуктивність.

Оптимальні зазори становлять від 18 до 26 мм.

**Розмір електрода** впливає на глибину проплавлення та стійкість процесу. При збільшенні діаметра електрода збільшується й глибина проплавлення, процес зварювання стає стійкішим.

Дріт 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 тепла, 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.

Низька напруга спричинює непровари, коротке замикання електрода на металеву ванну.

**Кількість електродів, які використовуються**, залежить від товщини металу. Зварювання проводиться одним, двома, трьома і гребінкою електродів у кількості 12 штук. Кількість електродів приймається кратна трьом, щоб рівномірно загрузити трифазну мережу.

**Рід зварювального струму** суттєвого впливу на процес зварювання не має, при будь-якому струмі процес стійкий. У більшості випадків зварювання ведеться на змінному струмі тому, що він дешевий, менша вартість джерел живлення, їх к.к.д. більший, а також більш рівномірне завантаження трифазної мережі.

**Швидкість поперечного** зворотно-поступального переміщення електроду впливає на глибину проплавлення. Із збільшенням швидкості глибина проплавлення зменшується і навпаки. У нормі її встановлюють у межах 30-40 м/год.

**Марка флюсу й електродного матеріалу** має великий вплив на якість шва та його хімічний склад. Невеликі витрати флюсу — мала інтенсивність 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. Прийнятий діаметр електродного дроту становить 2–5 мм, але найчастіше застосовується дріт діаметром 3 мм; швидкість подачі вибирають у діапазоні 0,055–0,11 м/с (200–400 м/год). Із збільшенням швидкості подачі дроту, товщини виробу та сили зварювального струму зростає небезпека появи у шві гарячих тріщин. Напруга зварювання підбирається в діапазоні 32–56 В з умовою відповідного проплавлення кромки залежно від товщини металу, що зварюється, марки сталі, флюсу, швидкості подачі електродного дроту.

Підвищення напруги збільшує глибину проплавлення. Під час зварювання глибина шлакової ванни (30–60 мм) повинна бути постійною. Для цього в неї періодично підсипають флюс. Із зменшенням глибини шлакової ванни погіршується стійкість процесу зварювання. «Сухий» 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, віддалі від електрода до повзуна в крайньому положенні — 10 мм. Кінематична швидкість, на яку настроюють зварювальні апарати, повинна перевищувати середню швидкість зварювання в 1,5–2 рази.

## 11.6. ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Техніку ЕШЗ визначають прийоми, які дозволяють:

- надійно збуджувати процес зварювання при довільному перерізі електрода;
- одержати якісний шов на початку при збудженні процесу після вимушеного 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. Виконується тільки при зварюванні електродними дротами або плавким мундштуком. При зварюванні пластинчатим електродом або електродами великого перерізу для збудження процесу зварювання використовується спеціальний флюс АН-25, який має високу електропровідність у рідкому та в твердому стані. Можна використовувати керамічні флюси, механічну суміш крупки або порошку із феросплавів і шлакоутворюючих оксидів.

### 11.6.2. Одержання якісного шва

При ЕШЗ на початку шва (до 20–30 мм) утворюється непровар кромки, що є типовим дефектом вертикального зварювання, оскільки на початку зварювання зазор заповнюється рідким металом при непрогрітих кромках. Тому при зварюванні металу великих товщин на початку зварного з'єднання встановлюють технологічну приставку з вирізом глибиною 60–80 мм. На кінцевій ділянці шва утворюється усадкова тріщина довжиною до 30 мм, тому кінець шва 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.

Кільцеві шви починають зварювати в спеціальних кишнях, які утворюються двома вставками. Рух виробу здійснюється після повного заварювання кишень. Замість технологічних планок використовують мідний кокіль, який охолоджується водою.

### 11.6.3. Вибір формуючих пристроїв

При ЕШЗ у якості формуючих пристроїв використовують мідний повзун або мідну нерухому підкладку, які охолоджуються водою.

**При виборі формуючих пристроїв необхідно врахувати наступне:**

1. Повзун забезпечує хороший огляд зони зварювання, дає можливість здійснювати контроль положення електрода в зазорі й своєчасно коректувати його, а також контролювати глибину шлакової ванни;
2. При зварюванні електродними дротами повзун дозволяє вводити мундштук у зазор збоку. При цьому зменшується їх довжина і збільшується стійкість;
3. Повзун кріпиться до зварювального апарата або до спеціального механізму переміщення на підвісці, тому його встановлення займає менше часу ніж на встановлення підкладки;
4. Виготовлення повзуна 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 повзуна, менше часу потрібно на спостереження за підкладкою порівняно з повзуном.

### 11.6.4. Рівномірне проварювання кромek

Для забезпечення рівномірного проварювання кромek 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 замірюють висоту металевого наросту, що утворився на стержні.

Рівномірний провар одержують при зварюванні одним електродним дротом із зворотно-поступальним переміщенням по товщині металу. При зварюванні двома й трьома дротами їх необхідно розташувати та вибрати амплітуду коливань так, щоб кожен переміщувався в межах ділянок товщини зварного металу і на визначену віддалі не доходив до ділянки переміщення сусіднього електрода на 20–40 мм. При зварюванні пластинчатим електродом оптимальна

ширина пластин становить 100–125 мм. Ефективне використання пластин шириною до 175–200 мм. Якщо потрібна більш широка пластина слід переходити на три- або шестиелектродне зварювання.

На виробництві застосовують такі способи наведення шлакової ванни:

— «твердий старт», коли зварювальний флюс спочатку плавиться 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 водоохолоджуючими 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. Завдання зварювання складних профілів завжди можна спростити при правильному конструюванні (наприклад, за допомогою місцевих приливів шириною 50–60 мм на бік; рис. 11.5 ж). У випадку малої доступності одного із боків шва можна використовувати підкладку, що відстає (рис. 11.6).

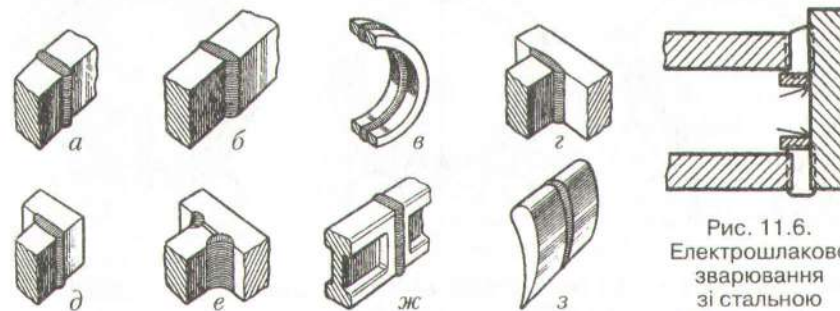


Рис. 11.5. Види зварних з'єднань, виконаних ЕШЗ:  
а, б, в, ж — стикові; г, е — таврові; д — кутові; з — змінного перерізу

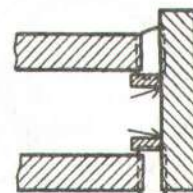


Рис. 11.6. Електрошлакове зварювання зі сталюю підкладкою, що відстає

Зауважимо, що при наявності такої підкладки по довжині, стики повинні бути старанно проварені. Непровар може спричинити утворення тріщин. Для однотипних деталей, які часто повторюються в даному виробництві, можна використовувати мідні підставки або форми, що охолоджуються водою (рис. 11.7).

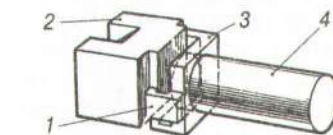


Рис. 11.7. Приклад мідної охолоджувальної форми для електрошлакового зварювання:  
1 — повзун; 2 — вилка; 3 — мідна форма; 4 — стрижень

ЕШЗ успішно використовують 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 валика і необхідністю замикання кінця шва з початком. Зварювання кільцевого стику починають на допоміжній пластинці, ввареній у зазор стику (рис. 11.9 а).

Після зварювання приблизно півкола стику, ділянка з початком шва появляється на другому боці кантувача (рис. 11.9 б). Потім зварник виплавляє повітряно-дуговим або кисневим різанням початок шва до повної ліквідації непроварів і надає торцеві шва похилого зрізу, який полегшує виконання шва (замка) (рис. 11.9 в).

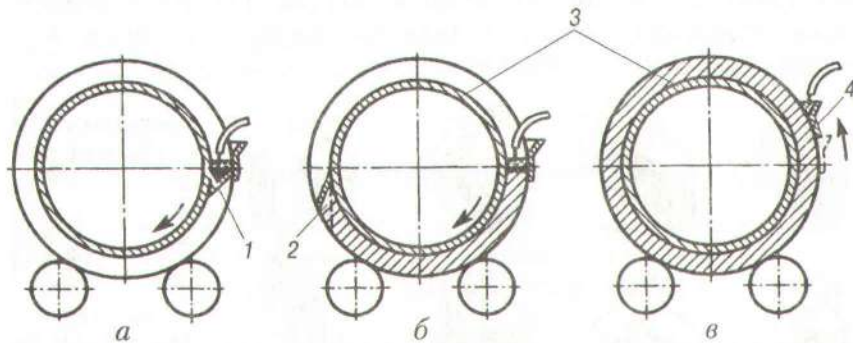


Рис. 11.9. Схема електрошлакового зварювання кільцевих швів:

1 — пластина для початку зварювання; 2 — вирізка початку шва різцем; 3 — мідна прокладка; 4 — повзун

Усадкову раковину виводять або в спеціальний прилив у зовнішньому формуючому повзуні або в мідний кокіль, або ж виплавляють і заварюють вручну. Формування шва зворотного боку можна здійснювати сталевим кільцем, яке відстає; мідним кільцем, яке охолоджується, зворотнім повзуном. Застосування сталевого кільця можливе тоді, коли конструкція виробу не вимагає його видалення або коли виріб піддається наступній механічній обробці. Кромки кільцевого стику, як і поздовжніх стиків, скріплюють усередині та ззовні звичайними П-подібними скобами або планками, привареними до стінок виробів. При зварюванні

з мідним кільцем, яке охолоджується 1 (рис. 11.10), воно заводиться в отвір скоб 2 і закріплюється клинами 3, які вбиваються між скобами й кільцем.

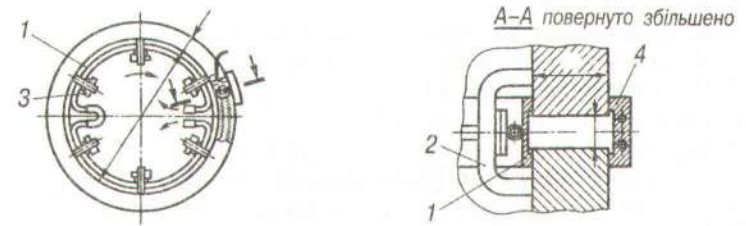


Рис. 11.10. Кільцевий стик:

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

При зварюванні закритих посудин невеликих розмірів, лазерних отворів і при розташуванні стику на значній віддалі від торця виробу встановлення такого повзуна утруднюється. Варіанти кріплення повзунів показані на рис. 11.12.

При зварюванні прямолінійних швів початок і кінець виводять за межі робочої частини з'єднання шляхом встановлення початкових і вивідних планок.

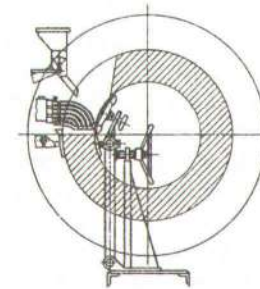


Рис. 11.12. Зварювання вала із застосуванням внутрішнього повзуна

За умови прийняття спеціальних заходів електрошлаковим способом можна зварювати елементи великої товщини з алюмінію та його сплавів. Елементи з титану та його сплавів при товщині понад 30 мм також доцільно з'єднувати електрошлаковим зварюванням, захищаючи аргонем поверхню шлакової ванни (рис. 11.13).

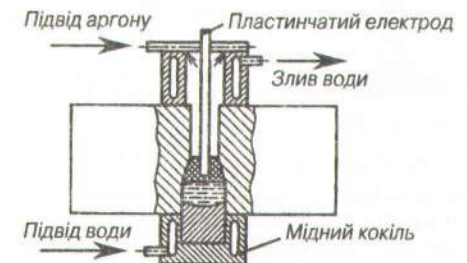


Рис. 11.13. Ескіз стикового з'єднання поковок із титану з мідним коклем, який охолоджується водою

1. Охарактеризуйте специфічні особливості ЕШЗ.
2. У чому суть ЕШЗ?
3. Як проводиться підготовка кромки для ЕШЗ?
4. Назвіть основні способи ЕШЗ, у чому їх різниця.
5. Які основні параметри ЕШЗ?
6. Які шви найзручніші для ЕШЗ?
7. Які електроди використовуються для ЕШЗ?
8. Які принципові схеми будови апаратів для ЕШЗ?
9. Охарактеризуйте техніку зварювання кільцевих швів.
10. Назвіть методи ЕШЗ.
11. Чи впливає на процес зварювання рід зварювального струму?
12. Назвіть основні марки автоматів для ЕШЗ.
13. Виберіть трансформатори для ЕШЗ.
14. Виберіть випрямлячі для ЕШЗ.
15. Виберіть основні марки дроту для ЕШЗ.
16. Виберіть основні марки флюсу для ЕШЗ.
17. Який пристрій використовують в якості формуючого?
18. Назвіть способи контролю зварної ванни.

**12.1. ПЛАЗМОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

Особливістю плазмового зварювання є висока температура стовпа дуги (10 000–30 000°C) внаслідок стискання його струменем газу (аргоном, гелієм, воднем та їх сумішами). В результаті стискання 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 охолоджуваним 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 палик (плазмотрон) із змінним охолоджуваним водою вольфрамовим електродом і плазмoутворюючою насадкою. Тиск дуги і тепла енергія, що вводяться у виріб, залежать від діаметра насадки, кута загострення електрода і встановлення електрода відносно плазмoутворюючої насадки. Діаметр насадки залежить від сили зварювального струму (табл. 12.1), напруги на дузі, витрат і складу плазмoутворюючого і захисного газів.

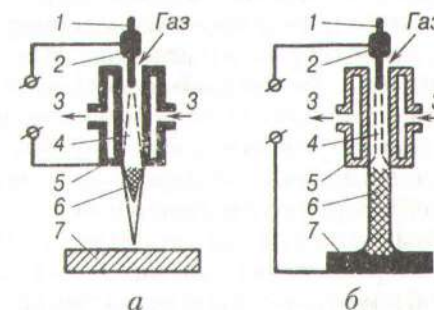


Рис 12.1. Плазмове зварювання:

а — зварювання плазмою, виділеною із стовпа дуги; б — плазма, що співпадає із стовпом дуги; 1 — вольфрамовий електрод; 2 — струмопідвідний мундштук; 3 — охолодна вода; 4 — стовп дуги; 5 — мідне сопло; 6 — плазмовий струмінь (дуга), 7 — основний метал

Таблиця 12.1

**Залежність діаметра насадки від сили зварювального струму**

Сила струму, А	100	140	170	220	250	300
Діаметр насадки при 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 зварюванням 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 плазмоутворюючої газу: аргон і його суміші з воднем і гелієм та захисні газу: суміш аргону з 5–8% водню при зварюванні легованих сталей, міді, нікелю; вуглекислий газ — при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Кромки деталей перед зварюванням зачищають щітками від бруду, масла на ширину 30 мм і знежирюють розчином. Стилки складають без зазорів. Максимальний зазор не повинен перевищувати 1,5 мм. Прихватки виконують покритими електродами, аргоно-дуговим або ручним плазмовим зварюванням. Підсилення прихваток видаляють механічним способом. Плазмові зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Перед запалюванням дуги в зону зварювання протягом 5–20 с подають захисний газ. Відстань від 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 завареній 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 плазмові зварювання поділяється на зварювання плавленням і зварювання з наскрізним проплавленням.

Для створення шва необхідної форми плазмові зварювання виконують із присаджувальним металом діаметром не менше 1,5 мм.

У процесі зварювання пальника і дроту надають коливальних рухів з амплітудою 2–4 мм. При цьому кінець присадки завжди повинен знаходитись у зоні захисного газу. Не можна різко подавати кінець присадки у зварну ванну. Кратер заварюють уведенням краплі розплавленого металу з одночасним відведенням плазмотрона до природного обриву дуги або її вимикання системою керування.

Плазмові зварювання використовують для стикових з'єднань товщиною до 10–15 мм без розчищення кромки. При більшій товщині необхідний V- або U-подібний скіс кромки 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 щільний пучок електрони, вдаряючись у зварювану деталь, віддають їм свою енергію, яка плавить і зварює метал. Вакуум у середині камери необхідний для того, щоб енергія електронів не витрачалась на іонізацію газу в камері, та для одержання шва без газових включень. Глибокий вакуум (10<sup>-4</sup> мм рт. ст.) створюється насосною системою зварювальної установки.

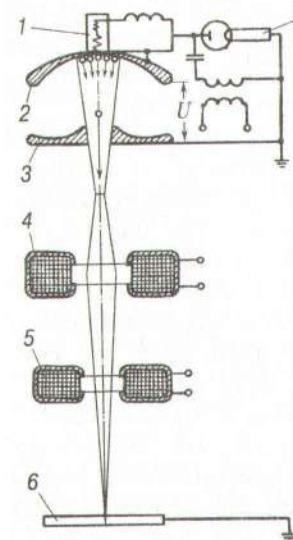


Рис. 12.2. Електронно-променево зварювання:

1 — катодна спіраль; 2 — фокусувальна головка катода; 3 — перший анод з отвором; 4 — фокусувальна магнітна котушка для регулювання діаметра плями 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 умикають у коло живлення керуючого електрода. Густина енергії променя регулюють зміною напруженості магнітного поля фокусувальної лінзи. Це дає можливість керувати температурою нагрівання матеріалу.

Теплова потужність електронного променя в тисячі разів більша за потужність звичайної зварювальної дуги. Це забезпечує високу швидкість зварювання, вузькі й глибокі шви, малу біляшовну зону, низькі деформації.

Електронно-променеве зварювання використовують в електронній та атомній промисловості, в літако- й ракетобудуванні. Виготовляють зварні шестерні, різальні інструменти, відповідальні будівельні конструкції (балки, колони), вузли парогенераторів і двигунів внутрішнього згорання. Цим способом зварюють тугоплавкі (тантал, ніобій, вольфрам, молибден) і легкоокиснювані (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, рідкий 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.

Під час роботи біле світло високої інтенсивності поглинається рубіновим стрижнем, доки не досягне максимального насичення. Потім починається випромінювання з рубінового стрижня коротких імпульсів нової енергії у вигляді червоного світла через отвори в частково відбиваючому дзеркалі. Після кожного випромінювання енергія в стрижні зменшується і цикл повторюється. Кожний цикл

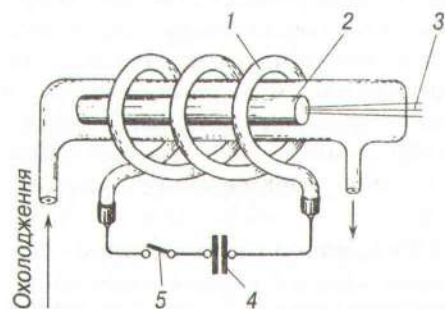


Рис. 12.3. Лазерне зварювання:

1 — газорозрядна лампа із кварцевої трубки, 2 — рубіновий кристал, 3 — світловий промінь, 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 різні метали;
- шов формується за тисячні частки секунди, що позитивно впливає на хімічний склад зварюваних металів;
- можливість автоматизації процесу зварювання.

Широко використовується лазерне різання металів із піддуванням повітря, кисню або аргону. Лазером ріжуть низьковуглецеві сталі товщиною до 10 мм, леговані сталі до 6 мм, нікелеві сплави до 5 мм, тантал і ніобій товщиною до 3 мм, а також дерево, скло, кераміку, азбоцемент, гуму.

### 12.4. ТЕРМІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Термітне зварювання — це вид зварювання плавленням (рис. 12.4). Зварювання цього виду виконують за допомогою терміту — порошкової суміші алюмінію з окалиною. Алюміній в окаліні згоряє і при цьому виділяється оксид алюмінію та залізо:  $8Al + 3Fe_3O_4 \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe$ .

Алюмінієвий терміт широко використовують для зварювання рейок на трамвайних і залізничних коліях, стрижнів і валів великого діаметра.

Магнієвий терміт застосовують для зварювання сталевих проводів зв'язку, причому зварювані кінці не оплавляються, а процес зварювання відбувається в пластичному стані при стисканні. При термітному зварюванні використовують спеціальні тиглі для спалювання терміту. Термітну суміш підпалюють спеціальними термічними сірниками (магнієвий терміт). Суміш

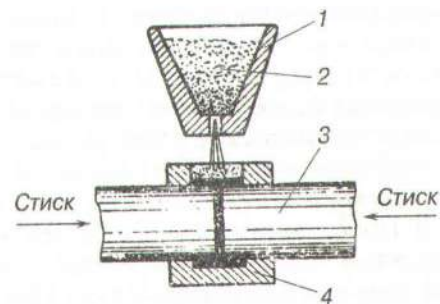


Рис. 12.4. Термітне зварювання:

1 — тигель; 2 — термітна суміш; 3 — кінці рейок; 4 — вогнетривка форма

горить за рахунок кисню окалини і не потребує кисню повітря. Горіння відбувається рівномірно, без вибухів, температура досягає  $3000^{\circ}\text{C}$  і вище. В тиглі від згоряння терміту утворюються розплавлені метал і шлак, які через отвір на дні тигля виливають 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 терміт додають до 50% сталевий стружки, цвяхів, 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 нероз'ємне з'єднання. Основними способами контактного зварювання є стикове, точкове й шовне.

При **стиковому** зварюванні деталі закріплюють у затискачах і пропускають струм від трансформатора, зближуючи кінці деталей. В площині дотику деталі швидко нагріваються до зварювальної температури. Потім струм вимикають, а деталі стискають. Цим способом зварюють рейки, труби, стрижні, свердла, ланцюги, різці тощо.

Існує два способи стикового зварювання: зварювання опором, при якому торці деталей нагрівають до пластичного стану, а потім стискають; і зварювання оплавленням, коли поверхні торців доводять до стану плавлення, після чого їх стискають. Розрізняють зварювання безперервним і перервним (імпульсним) оплавленням, а також оплавленням з підігрівом.

Для захисту металу від взаємодії з газами при стиковому зварюванні хімічно активних металів використовують захисні інертні гази. Проблемаю стикового зварювання є необхідність видалення задирок — металу, який утворюється при стисканні. Їх зачищають вручну або механічним способом відразу після зварювання.

При **точковому** зварюванні листи з'єднують унапуск і затискають між мідними електродами, через які пропускають струм від трансформатора. Метал у точці опори сильно нагрівається внаслідок

підвищення опору при проходженні струму ( $0,01\text{--}0,5\text{ с}$ ). Потім струм вимикають й деталі стискають за допомогою спеціального механізму електродами.

При виготовленні багатьох конструкцій (вагонів, кузовів автомобілів тощо) використовують різні способи точкового зварювання: рельєфне (пресове), автоматичне багатоточкове, однібічне точкове та ін.

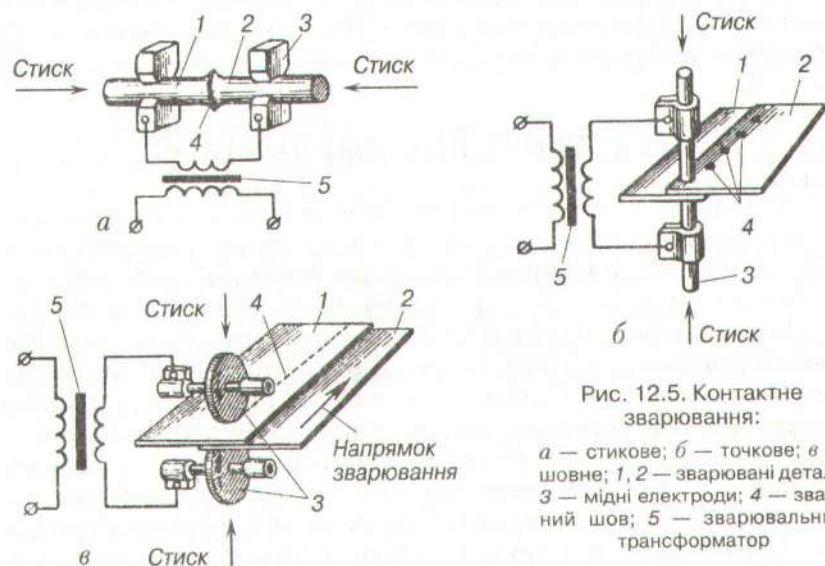


Рис. 12.5. Контактне зварювання:

а — стикове; б — точкове; в — шовне; 1, 2 — зварювані деталі, 3 — мідні електроди, 4 — зварний шов; 5 — 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 циклу ( $0,5\text{--}3\text{ с}$ ) 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  $150\text{ МПа}$ . М'які режими застосовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, а жорсткі — для корозійостійких сталей, алюмінію та мідних сплавів.

**Шовне зварювання** виконують на шовних зварювальних машинах, де замість стрижневих електродів використовують ролики. При зварюванні листів утворюється суцільний шов. За допомогою дискових роликів передається зусилля до деталей, подається 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 контактної зварювання є значна короткочасна потужність, яка споживається від живильної 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, переривника зварювального струму, регулятора струму первинного кола трансформатора, струмопідвідних пристроїв, а також механізмів для створення необхідного тиску для стискання деталей.

## 12.6. ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Дифузійне зварювання вперше було запропоноване і практично розроблене Н. Ф. Козаковим. Зварювання проходить завдяки взаємній дифузії твердих частинок металів при дотику їх поверхонь після стискання. 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 молібденовий нагрівач або індуктор 3. Через сальник 4 камери проходить шток 5, який передає на деталі 2 стискаюче зусилля від навантажувального пристосування 6 або від гідравлічного пристрою, який в широких межах допускає зміну величини питомого тиску при зварюванні.

Нагрівання проходить у вакуумі при залишковому тиску  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  мм рт. ст. під камерою 1 або в контрольованому середовищі водню, аргону, гелію або вуглекислого газу, якими заповнюють

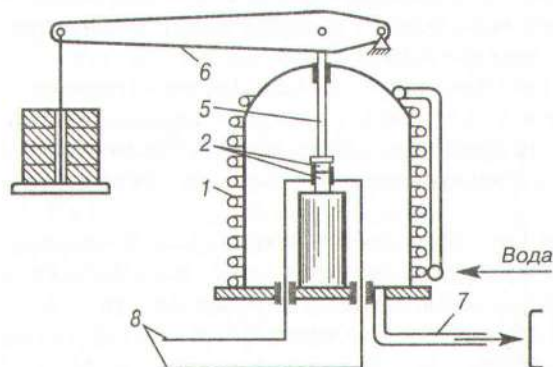


Рис. 12.6.  
Дифузійне  
зварювання:

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 і 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 молібденом, вольфрамом, ренієм; сталь з чавуном, алюмінієм, вольфрамом, титаном, металокерамікою, графітом, склою; цирконій з латунями та ін). Цей вид зварювання застосовують для одержання виробів із високоточними розмірами; для з'єднання матеріалів, які піддаються зварюванню плавленням; для виробів, які працюють у складних умовах; для деталей з великою різницею коефіцієнтів лінійного розширення.

## 12.7. ДУГОПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ (ОБЕРТОВОЮ ДУГОЮ)

Цей спосіб оснований на використанні тепла електричної дуги, яка переміщується по колу вздовж стику за допомогою обертового магнітного поля. Магнітні поля створюються котушками електромагніту. Взаємодіючи із струмом дуги, вони примушують її крутитися з великою швидкістю по колу кромки, утворюючи суцільне кільце дугової плазми. При цьому кромки швидко нагріваються до оплавлення і при стисканні зварюються. Рідкий метал і шлаки витискуються назовні, утворюючи високоякісне зварне з'єднання. Зварювання виконують постійним струмом.

Існує два види зварювання обертовою дугою. В першому випадку (рис. 12.7 а) дуга збуджується між торцями кромки труб і після їх оплавлення труби стискаються. У другому випадку (рис. 12.7 б) дуга горить між стиками труб і внутрішньою поверхнею мідного сопла, що охолоджується водою. При щільному складанні без зазорів стискання труб не виконують. Цей спосіб використовують для зварювання неповоротних стиків труб.

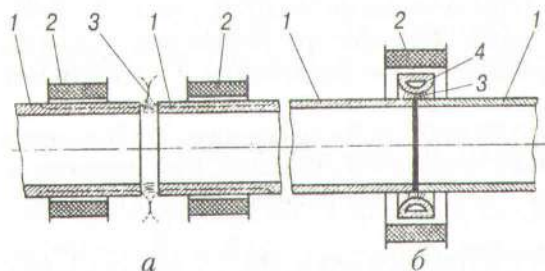


Рис. 12.7 Зварювання обертовою дугою:

а — дуга, що горить між торцями кромки; б — дуга, що горить між кромками і мідним кільцем; 2 — котушка електромагніту; 3 — зварювальна дуга; 4 — мідне кільце

## 12.8. ІНДУКЦІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Цим способом зварюють поздовжні шви труб (рис. 12.8) у процесі їх виготовлення на прокатних станах і наплавляють твердими сплавами 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 труби, які заформовані в обтискних роликах, безперервно нагріваються високочастотним індуктором до зварювальної температури, а потім стискаються. При цьому вони зварюються, утворюючи шов.

Цей спосіб придатний для зварювання тонкостінних труб. Швидкість зварювання труби 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: багатовиткових, плоских, петльових тощо. Для зменшення шунтування зварювального струму через стінку труби всередину вводять феритний сердечник.

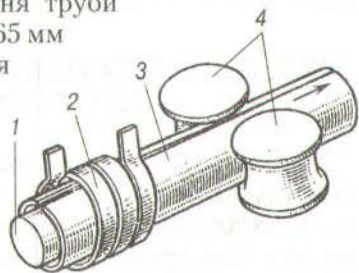


Рис. 12.8. Індукційне зварювання:

1 — феритний сердечник; 2 — високочастотний індуктор; 3 — заготовка труби; 4 — обтискні ролики

## 12.9. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

Зварювання тертям — це один із видів зварювання плавленням. Цей спосіб зварювання був запропонований в 1956 р. слюсарем-новатором А. І. Чудіковим. Зварювання тертям (рис. 12.9) полягає в тому, що внаслідок тертя торця одного із зварюваних стрижнів об торець іншого місце з'єднання нагрівається до пластичного 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 руйнують поверхневі плівки оксидів. Для обертання і стискання зварюваних деталей використовують спеціальні верстати, які за механічною схемою нагадують токарні. Одна деталь нерухома, а інша притиснута до першої й обертається. Коли температура у стикі досягає температури зварювання, тертя різко припиняється, а осьове зусилля зростає.

Зварювання тертям використовується для з'єднання труб, стрижнів, різального інструменту (свердл, різців, розверток), деталей із різних матеріалів (алюмінію із сталлями та ін.), а також різних деталей круглого перерізу із сталі, чавуну, латуні, міді та алюмінію.

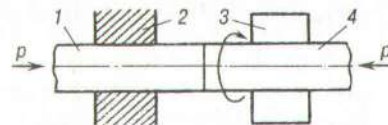


Рис. 12.9. Зварювання тертям:

1 — нерухомий стрижень; 2 — нерухомий затискач; 3 — обертовий патрон верстата; 4 — обертовий стрижень

## 12.10. ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Холодне зварювання — це один із видів зварювання тиском. Його виконують без нагрівання металу зовнішнім джерелом тепла, але з утворенням пластичної деформації в місці зварювання. Суть зварювання цього виду полягає в тому, що атоми металу біля поверхні дотику з'єднаних частин при великому тиску пуансонів 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 сталлями та ін.).

Холодне зварювання широко використовується в електротехнічній промисловості для з'єднання проводів і шин, армування контактних з'єднань спеціальними кліщами.

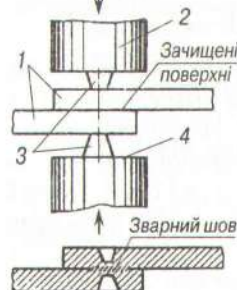


Рис. 12.10. Холодне зварювання:

1 — зварювані деталі; 2 — пуанسونи; 3 — робоча частина пуансонів; 4 — опорні поверхні пуансонів

## 12.11. ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ

Зварювання вибухом — вид зварювання тиском, який здійснюється під дією вибуху (рис. 12.11). Основою цього способу зварювання є вплив направленного короткочасного надвисокого тиску на зварювані деталі. Одна із зварюваних деталей (пластина) вкладається на жорстку основу, а інша — під кутом  $2-7^\circ$  до неї і на відстані  $2-3$  мм. Заряд вибухової речовини розміщують рівномірним шаром безпосередньо на верхній пластині. Вибух проводиться детонатором, розташованим над вершиною кута. У результаті вибуху верхня деталь потоком продуктів детонації з великою швидкістю вдаряється в нижню. В момент вибуху між деталями створюється велика стискаюча сила і направлений струмінь повітря, який очищає поверхню листових деталей. У зоні дотику метал з'єднаних пластин тече подібно рідині і зливається в одне ціле, утворюючи монолітне зварне з'єднання. Зона з'єднання досягає  $0,3-0,4$  мм.

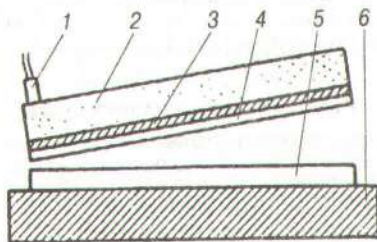


Рис. 12.11.  
Зварювання вибухом:

1 — детонатор; 2 — вибухова речовина;  
3 — шар гуми; 4, 5 — зварювані деталі;  
6 — основа

Зварювання вибухом використовується з 1964 р. для одержання біметалевих заготовок, виробів трубчастого перерізу тощо. Цим способом можна з'єднати деталі площею  $15-20$  м<sup>2</sup>. Зварне з'єднання утворюється протягом мільйонної частки секунди, що виключає можливість виникнення дифузійних процесів. Тому цим способом можна з'єднати такі різні метали, які при зварюванні плавленням дають крихкі з'єднання.

## 12.12. УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ультразвукове зварювання (рис. 12.12) подібне зварюванню тертям. Нероз'ємне з'єднання утворюється при спільній дії на зварювані деталі механічних коливань високої (ультразвукової) частоти і відносно невеликих стискальних зусиль.

Сили тертя виникають при впливі на стиснуті осью силою заготовки механічних коливань ультразвукової частоти ( $20-30$  кГц). Такі коливання утворюються в спеціальних генераторах потужністю  $3-10$  кВт і магнітострикційних<sup>1</sup> перетворювачах. Коливання й тиск передаються зварюваним деталям через спеціальний пристрій. Коливання викликають зсув частин металу, руйнування

<sup>1</sup> *Магнітострикція* — зміна розмірів тіла при намагнічуванні.

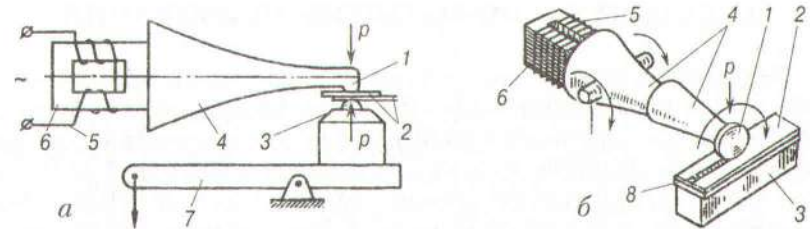


Рис. 12.12. Ультразвукове зварювання:

*a* — точкове; *b* — шовне; 1 — верхній електрод; 2 — зварювані деталі; 3 — нижній електрод; 4 — хвильовід; 5 — обмотка струму високої частоти; 6 — вібратор; 7 — механізм передачі зусилля стиску; 8 — зварний шов; *P* — зусилля стиску

плівки і розігрівання зварюваних поверхонь, а тиск — необхідну пластичну деформацію. Елементом коливальної системи є електромагнітний перетворювач. Змінна напруга створює в обмотці перетворювача намагнічувальний струм, який збуджує змінне магнітне поле в матеріалі перетворювача. При зміні величини напруженості магнітного поля в матеріалі виникає періодична зміна розмірів, при цьому частота пружних коливань рівна подвійній частоті струму. Амплітуда коливань на кінці хвильоводу на холостому ході становить  $20-40$  мкм.

У результаті ультразвукових коливань у тонких шарах поверхонь 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 міжатомних сил і виникає міцне зварне з'єднання.

### **Перевагами ультразвукового зварювання є:**

- незначний тепловий вплив на зварювані деталі, який забезпечує мінімальну зміну їх структури;
- застосування невеликих стискаючих зусиль ( $0,1-2,5$  кН) призводить до виникнення малих ум'ятин ( $5-10\%$ );
- зварювання в твердому стані без суттєвого нагрівання дає можливість зварювати хімічно активні матеріали;
- можливість зварювання дуже тонких деталей;
- низька потужність зварювального обладнання й простота конструкції.

### **Недоліками ультразвукового зварювання є:**

- обмеження товщини зварюваних деталей;
- вплив високої частоти на організм людини;
- висока вартість генераторів високої частоти.

Цей спосіб зварювання використовується в приладобудуванні, радіоелектроніці для з'єднання пар металів: хромель — алюмель ( $350^\circ\text{C}$ ), мідь — константан ( $450^\circ\text{C}$ ), алюмінію ( $200-300^\circ\text{C}$ ), міді ( $600^\circ\text{C}$ ), а також термопластиків, 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 співударяння 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 підсилюється імпульсним магнітним полем. Завдяки цьому подача верхнього електрода прискорюється настільки, що набирає ударного характеру. Тривалість імпульсу й швидкість співударяння 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	Швидкість подачі електрода, м/год	Напруга на дугі, В	Параметри імпульсів		
							амплітуда, А	тривалість, мс	частота, с <sup>-1</sup>
<i>Сплав АМзб, електродний дріт марки Св-АМзб (в аргоні)</i>									
Стикові	4	Нижнє	1,6	70–80	130–140	18–19	600	1,2	100
	4	Вертикальне	1,6	70–80	130–140	18–19	500	1,2	50
	4	Стельове	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	Стельове	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	Стельове	2,0	160–180	250	20–22	600	1,2	100
Таврові	4	Вертикальне	1,6	80–90	140–150	20–22	500	1,2	50
	4	Стельове	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	Стельове	1,6	140–160	230–250	22–23	500	1,2	100
	6	Стельове	2,0	140–160	175–195	22–23	360	2,0	100
	10	Нижнє	2,0	240–250	330–340	21–23	350	2,0	100

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 дугі, В	Параметри імпульсів		
							амплітуда, А	тривалість, мс	частота, с <sup>-1</sup>
<i>Низьковуглецева сталь, електродний дріт марки Св-08Г2С (в суміші 20% Ar і 80% CO<sub>2</sub>)</i>									
Стикові	3	Нижнє	1,6	140–160	150–170	18–20	360–380		
Кутові	4–5	Вертикальне	1,6	180–200	180–190	21–23	340–400	3,0	50
Внапуск	4–6	Нижнє	1,6	220–230	250	25–27	420–430		
<i>Низьковуглецева сталь, електродний дріт марки Св-08Г2С, активуюче покриття поверхні дроту — водний розчин суміші 7,3% Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> і 1,2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (у вуглекислому газі, полярність пряма)</i>									
Кутові	3–4	Нижнє	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	280–240	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	Стельове	1,6	200–220	180–190	23–24	550–600	4,5–5,0	100

Примітка. Зварювання металів завтовшки понад 4 мм з V-подібним розчищенням кромок за ГОСТом 14771-76.

## 12.14. КОВАЛЬСЬКЕ (ГОРНОВЕ) ЗВАРЮВАННЯ

Ковальське зварювання — це з'єднання двох або більше металевих деталей в одне ціле при високій температурі й тиску. Воно відбувається в умовах температури, близької до точки солідуса (1 400–1 450°C), при проковуванні зварюваних деталей, накладених одну на одну.

Першим технологічним процесом в історії техніки, за допомогою якого люди могли одержати нероз'ємні з'єднання матеріалів, було ковальське зварювання. При цьому процесі міцне зчеплення з'єднуваних поверхонь досягається за рахунок взаємодії атомів.

За допомогою ковальського зварювання виконують різноманітні з'єднання деталей, виготовляють знаряддя праці, зброю. Особливо широке використання має художня обробка металів, де ковальське зварювання займає провідне місце при виготовленні декоративних решіток, огорожі, навісів, підставок тощо.

Ковальським зварюванням виготовляють вироби з чергуючими в певній послідовності шарами твердої та м'якої сталі, які мають самогострювальні властивості. Колись ковалі виготовляли мечі з візерункової 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. Засновники сучасної булатної технології (булат — різновидність східної сталі) П. П. Аносов і В. І. Басов відмітили, що коваль вкладає в роботу свою енергію та індивідуальний настрій.

Деталі під зварювання нагріваються в горні на кам'яному й деревному вугіллі, коксі, у газовій печі або з використанням електронагрівання. Для виготовлення композиційної деталі пластини або листи з низьковуглецевої сталі чергують із пластинами інструментальної сталі (рис. 12.13). Одну з пластин роблять довшою, щоб її можна було використати в якості рукоятки. На 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 посипають кварцевим піском (флюсом). Коли пісок прилипне до поверхні, деталь знову повертають і покривають флюсом інший бік.

При температурі 1 230–1 250°C флюс починає плавитися, а деталь — «пітніти». В цей момент її необхідно крутити. При цьому температура досяє 1 300–1 400°C і вирівнюється за всією довжиною поковки. Важливо її прогріти так, щоб білий колір поверхні був чистим, без темних плям. Потім пакет витягують з горна і легкими ударами проковують, повертаючи на 180°. Процес зварювання проходить доти, доки поверхня пакета буде «мокрою». При поганому зварюванні, з'явиться здуття і розшарування. При цьому зварювання необхідно повторити.

Якість зварювання перевіряють за такими способами:

- торці деталі зачищають на точилі і виявляють тріщини (поверхня має бути суцільною, без тріщин);
- швидко охолоджують і знову нагрівають деталь — при непроварах з'являються бульки.



Рис. 12.13. Ковальське зварювання:

1 — інструментальна сталь,  
2 — зварні прихватки

## 12.15. ВОДНЕВО-КИСНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ

В Україні з 1992 р. освоєне виробництво газозварювальних установок, в яких використаний принцип одержання воднево-кисневої газової суміші електролітичним розкладанням дистильованої води. Установки «Ефект 80», «Тріумф 300», «Тріумф» ЕВГ-600 призначені для газового зварювання й паяння чорних, кольорових металів та їх сплавів, для газополуменевої обробки (гартування, відпалу, очищення, нанесення склоемалей та ін.), зварювання кварцевого скла.

До комплекту установок входять зварювальний пальник ГС-2, комплект мундштуків, шланги з ніпелями довжиною 6 м, луг NaOH для первинної заправки і запасні частини.

Перед запуском установки виготовляють і заливають у бак 4 л електроліту, у гідрозатвор — 4 л води, в барботер — 0,4 л бензину. При вмиканні через 5–10 хв установка виходить на робочий режим. При витраті дистильовану воду і бензин 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, запаюванні 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 шпильок тощо. Цей спосіб зварювання характеризується високою продуктивністю і зручністю при складанні крупногабаритних конструкцій.

Електрозаклепками називають точкові шви, виконані зварювальною дугою плавким або неплавким електродом (рис. 12.14).

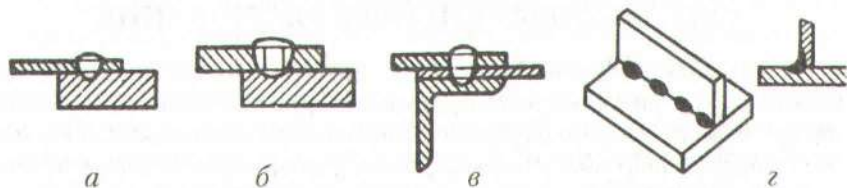


Рис. 12.14. З'єднання електрозаклепками:

*a* — без отворів у верхньому листі; *b* — з попередньо просвердленим отвором; *c* — зварювання двох листів з профільним елементом; *d* — 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 подачею 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);
- ЭНпЗ — в аргоні неплавким електродом (при товщині верхнього листа від 0,5 до 3 мм);
- ЭФЗ — під флюсом (при товщині верхнього листа від 0,8 до 14 мм).

Зварювання виконують із проплавленням верхньої деталі зварювальною дугою або через отвір, який попередньо просвердлюють або проколюють.

При зварюванні плавким електродом під шаром флюсу можливе проплавлення верхнього листа товщиною до 12 мм без попереднього свердління отворів. При цьому застосовують силу зварювального струму 4 500–5 000 А і електродний дріт діаметром 14–16 мм. Використання великих зварювальних струмів і електродів великих діаметрів призводить до утворення крупної головки електрозаклепки при малому діаметрі її стрижня. Тому доцільно просвердлювати отвори при товщині верхнього листа більше 2–3 мм.

Зварювання електрозаклепками неплавким електродом дає можливість одержати шви без підсилення і з більшою глибиною проплавлення металу. Листи товщиною 6 мм і більше зварюють графітовим електродом постійним струмом 400–700 А.

Після короткого замикання електрода на верхній лист (деталь) збуджується електрична дуга, під час горіння якої верхній лист проплавлюється 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 попередньо просвердлених або пробитих отворів електрод подають у зону горіння дуги. Потім подача електрода припиняється, а дуга продовжує горіти до природного обриву. Режими зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі наведені в табл. 12.4.

Таблиця 12.4

### Режими зварювання електрозаклепками у вуглекислому газі з проплавленням верхнього елемента

Товщина металу, мм		Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, 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 електрозаклепники 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 глибокому проплавленню металу. В свою чергу електрична дуга покращує термічний цикл лазерного зварювання, зменшує ймовірність утворення крихких загартованих структур у шві та зоні термічного впливу, зменшує частку дорогої лазерної потужності.

Для швидкісного зварювання тонких металів використовують комбінацію лазерного випромінювання з дугою неплавкого електрода (рис. 12.15). При зварюванні товстих металів можливе зварювання кореневого шва лазерним випромінюванням з одночасним заповненням розчищених кромок металом плавкого електрода (рис. 12.16).

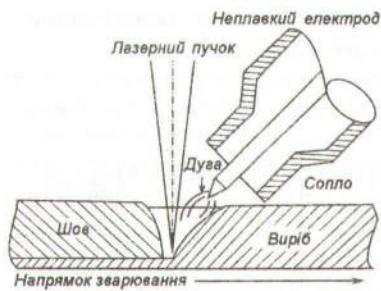


Рис. 12.15. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з неплавким електродом

Суміщена дія лазерного випромінювання і дуги плавкого електрода 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 й якості швів, виконаних лазером при меншій собівартості погонного метра шва.

## 12.18. КОМБІНОВАНИЙ ПРОЦЕС ТОЧКОВОГО ПЛАЗМОВО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Дугове точкове зварювання виконують плавким електродом з попереднім свердлінням і зенкуванням отворів у верхньому листі, діаметр яких перевищує діаметр електрода не менше ніж на 3–8 мм.

Технологічнішим є використання комбінованого точкового зварювання, яке передбачає наскрізне проплавлення листів із використанням плазмотрона та наступне заварювання 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.

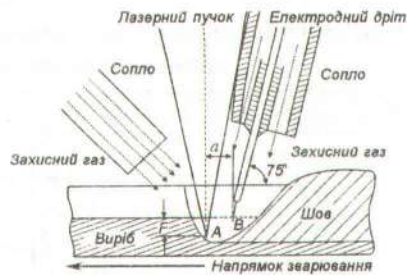


Рис. 12.16. Лазерно-дугове зварювання при використанні електричної дуги з плавким електродом:

A і B — точки фокусів лазерного променя й дуги; a, F — відстань між точками фокусів

Якщо плазмовий струмінь і зварювальна дуга з плавким електродом діють в одну точку зварної ванни, то виникає гібридний 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 плазмоутворюючого 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 плазмоутворюючого 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 перервними швами плавкими та неплавкими електродами.

## 12.19. ПРИВАРЮВАННЯ ШПИЛЬОК І СТРИЖНІВ

Особливість цього способу полягає у використанні шпильок або стрижнів в якості електрода. Спочатку між торцем шпильки (стрижня) та виробом збуджується електрична дуга й утворюється зварна ванна. Через декілька секунд, шпилька під впливом стисненої пружини швидко опускається вниз, утискуючись у зварну ванну, а зварювальний струм вимикається. Після кристалізації розплавленого металу утворюється міцне з'єднання між торцем шпильки і поверхнею деталі. Послідовність операцій при приварюванні шпильок і стрижнів показана на рис. 12.17.

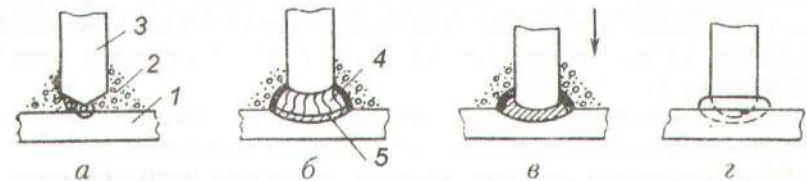


Рис. 12.17. Послідовність операцій при приварюванні шпильок і стрижнів під флюсом:

a — збудження дуги; б — утворення зварної ванни; в — втискування шпильки у зварну ванну; z — 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 стельовому положеннях для утримання розплавленого металу та примусового формування шва використовую-

ються спеціальні флюсові або фарфорові кільця. Флюсові кільця виготовляють із звичайних флюсів марок АН-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.

Цим способом приварюють шпильки діаметром 4–36 мм постійним або змінним струмом від 200 до 5 000 А. Якщо діаметр шпильки більше 6–8 мм, то для полегшення 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. Хренов (1932).

Зварювання під водою виконують плавкими штучними електродами, порошковим дротом і неплавким електродом. Для дугового підводного зварювання використовують електроди з товстим покриттям і гідроскопічною ізоляцією. Стрижень виготовляють з низьковуглецевої сталі; до складу покриття входять: оксид титану, залізна руда, польовий шпат, феротитан, феромарганець, крохмаль і рідке скло. Гідроізоляцію здійснюють парафіном, розчином целулоїду в ацетоні або спеціальними лаками. Коефіцієнт покриття повинен бути в межах 0,35–0,40, а коефіцієнт наплавлення — 8–9 г/А·год.

Суть процесу зварювання під водою полягає в тому, що теплота дуги випаровує і розкладає воду, створюючи навколо дуги газову порожнину. На стійкість горіння дуги впливає втулка, що утворюється через запізнення плавлення електродного покриття порівняно з плавленням стрижня. Вона сприяє збереженню газової порожнини, в якій горить дуга.

При зварюванні проходить поглинання теплоти дуги і зниження термоелектронної емісії, що затруднює запалювання дуги. Тому необхідно використовувати джерела живлення дуги змінного й 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 глибин, які обмежують можливості людського організму у водолазному спорядженні. При збільшенні глибини тиск води на газову порожнину і стовп дуги зростає, що

сприяє підвищенню глибини проплавлення металу. Шви, виконані штучними електродами, мають пористість, низьку пластичність і в'язкість через негативний вплив водню. 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 ізольованою поверхнею. Перед роботою зварник повинен уважно перевірити водолазне спорядження. Передній ілюмінатор водолазного шолома повинен на 2/3 закриватися знизу світлофільтром. Зварювання починають тільки при наявності над водою чергового — проінструктованого працівника, який має двосторонній телефонний зв'язок із зварником. Поблизу чергового має бути телефон, автоматичний вимикач напруги джерела живлення і рубильник для вимикання зварювальної установки від електромережі. Найперспективнішими видами підводного зварювання є дугове напівавтоматичне, плазмо-дугове і електронно-променево.

## Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть особливості плазмового зварювання.
2. Де застосовується дифузійне зварювання?
3. Які переваги електронно-променевого зварювання порівняно з дуговим?
4. Розкажіть про використання лазерного променя у зварювальному виробництві.
5. Які є види контактного зварювання?
6. Вкажіть особливості дугового 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 деталей 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

відповідного розчищення кромок, використовуючи двобічний скіс кромок замість однібічного. 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 похилому (під кутом 15–20°) положеннях. Джерела живлення для зварювання високопродуктивними електродами повинні мати підвищену напругу холостого ходу (не менше 65 В). Високопродуктивні електроди використовують для зварювання відповідальних конструкцій із низьковуглецевих 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 кутових швів у положенні «в човник» і стикових з'єднань. Для цього використовують електроди з особливо товстим покриттям. Стрижень електрода плавиться швидше за покриття і на кінці електрода з покриття утворюється втулка (дашок). Опіраючи козирок електрода на поверхню виробу, зварник переміщує дугу вздовж шва. При плавленні покриття утворюються газу, які відтискають рідкий метал, утворюючи валик. При цьому

виріб проплавлюється 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 установлює електрод під кутом 70–80° до площини виробу внапрямку його руху. Силу зварювального струму збільшують на 20–40% і визначають за формулою  $I_{зв} = (60 \div 70) d_e$ . Збільшена потужність дуги, концентроване введення тепла, швидке переміщення електрода під кутом та інтенсивне витискання розплавленого металу зварної ванни тиском дуги створюють умови для глибокого провару й розбризкування.

Натискаючи на електрод, зварник переміщує його вздовж шва, опираючи утворений козирок у кромку металу. Зварювання виконують без поперечних коливальних рухів електрода.

Для зварювання з глибоким проплавленням використовують електроди марок ОЗС-3, АНО-9 та ін. з підвищеною товщиною покриття. Режими зварювання впиранням стикових з'єднань без скошу кромки електродами ОЗС-3 наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

**Режими зварювання впиранням стикових з'єднань без скошу кромки електродами ОЗС-3**

Товщина металу, мм	Рекомендований зазор, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Глибина проплавлення, 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 УОНИИ-13/55 діаметром 5 мм.

При зварюванні впиранням 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 переходить з одного стрижня на інший, по черговою оплавлюючи їх. Електроди розташовують так, щоб загальна вісь співпадала 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 по чергового 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 одноручковий електродотримач з рукояткою, винесеною в бік від корпусу і зварювального кабелю.

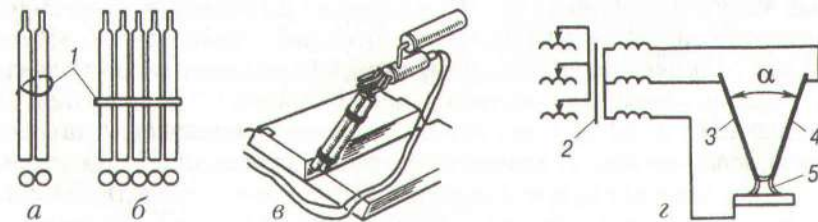


Рис. 13.1. Зварювання спареним електродом, гребінкою електродів і трифазною дугою:

а — схема спареного електрода; б — схема гребінки; в — зовнішній вигляд зварювання трифазною дугою; з — електрична схема зварювання трифазною дугою; 1 — зв'язка електродів; 2 — трифазний трансформатор; 3, 4 — електроди; 5 — дуга

Дуга збуджується на електроді, який знаходиться на ближній відстані від зварюваного виробу. При плавленні цього електрода дуга переходить на другий стрижень і т. д. Розташовуючи електродну гребінку вздовж шва, можна глибоко проникати в розчищенні кромки й

проплавляти основний метал на велику глибину та одержувати якісне формування шва. При цьому продуктивність зварювання підвищується у 2 рази порівняно із зварюванням звичайним електродом.

Зварювання гребінкою електродів використовують і при ванно-модуговому 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 *в, 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.

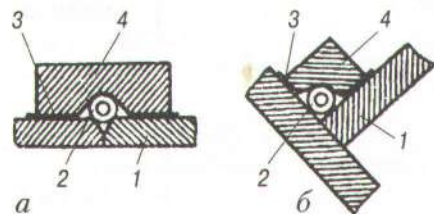


Рис. 13.2. Схема зварювання лежачим електродом:

1 — зварюваний метал; 2 — лежачий електрод; 3 — паперова ізоляція; 4 — мідна колодка

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 покриті 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 згоряння електрода. Кут нахилу електрода в процесі зварювання залишається постійним. Запалювання дуги починають умиканням струму рубильником або за допомогою окремого електрода. Коли довжина електрода досягає 25–30 мм, спрацьовує вимикаючий пристрій і дуга розривається.

Особливістю електродів є утворення при зварюванні на його кінці козирка з покриття. Цим козирком електрод упирається на зварюваний виріб, підтримуючи постійною довжину дуги. Постійність розташування козирка (дашка) в процесі зварювання забезпечується нанесенням покриття з високою концентричністю. З метою збільшення часу плавлення електроди виготовляють довжиною від 450 до 900 мм, діаметром 4; 5 і 6 мм.

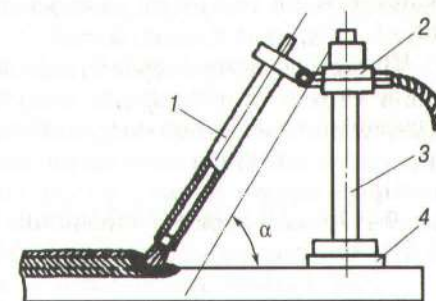


Рис. 13.3. Схема зварювання похилим електродом:

1 — електрод; 2 — обойма; 3 — штанга; 4 — ізолююча підкладка; α — кут нахилу електрода

Для забезпечення легкого збудження дуги на кінець електродів наносять іонізуюче покриття, а для попередження напливів у місцях стикування швів використовують електроди із заглибленням на кінцях стрижнів. Для цього способу зварювання розроблені електроди марок ОЗС-12, ОЗС-15Н і ОЗС-17Н.

Техніка зварювання порівняно проста та не потребує великих витрат і тривалого навчання. Зварник може одночасно 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.

### 13.6. ЗВАРЮВАННЯ ПУЛЬСУЮЧОЮ ДУГОЮ

При зварюванні пульсуючою дугою швидкість і кількість введеної у виріб теплоти визначаються режимом пульсації дуги, що залежить від властивостей металу, його товщини та просторового положення зварювання. Пульсуючою дугою можна змінювати форму й розміри зварної ванни, впливати на залишкові деформації, змінювати процес кристалізації металу.

Пульсуючий дуговий розряд дає можливість підібрати такий режим зварювання, який зменшує стікання рідкого металу в будь-яких просторових положеннях, збільшує провар, зменшує можливість пропалів, спрощує техніку зварювання, підвищує продуктивність, покращує якість зварювання та знижує вимоги до кваліфікації зварника.

При зварюванні плавким електродом на основний зварювальний струм дуги накладають короткочасні імпульси струму, що прискорюють плавлення кінця електрода, формують і відривають краплі металу. Оптимальним вважають режим, при якому кожний імпульс відриває краплю металу.

Пульсуючу дугу одержують за допомогою спеціальних переривників струму, тиристорних комутаторів, реле пульсації струму. Джерелами живлення можуть бути зварювальні перетворювачі й спеціальне обладнання з переривниками та регуляторами струму.

Продуктивність зварювання пульсуючою дугою збільшується на 10–15% порівняно із звичайним ручним дуговим зварюванням і на 70–80% порівняно з газовим зварюванням.

#### Контрольні запитання та завдання

1. Які можливості підвищення продуктивності ручного дугового зварювання?
2. Вкажіть особливості зварювання високопродуктивними електродами.
3. Як виконують зварювання з глибоким проплавленням (опиранням)?
4. Назвіть особливості зварювання спареним електродом.
5. Як підвищують продуктивність зварювання, використовуючи трифазний струм?
6. Як виконують зварювання лежачим і похилим електродом?
7. Поясніть особливості зварювання пульсуючою дугою.

## ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ І ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

### 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, кремній, сірка і фосфор.

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють на низько- (до 0,25%С), середньо- (0,25–0,6) і високовуглецеві (0,6–1,5%С).

Для виготовлення зварних конструкцій використовують вуглецеву сталь звичайної якості, яку згідно ГОСТу 380-88 випускають таких марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, 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, дротяну, 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 вводять букву Г. Леговані сталі крім постійних елементів містять спеціально введені для одержання необхідних властивостей легуючі елементи.

Залежно від вмісту легуючих елементів сталі поділяють на:

- низьколеговані (до 3%);
- середньолеговані (від 3 до 10%);
- високолеговані (більше 10%).

Леговані сталі позначають цифрами, які вказують вміст вуглецю в сотих частках процента і буквами, що вказують легиуючі 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.

*Легиуючі елементи позначають:*

Б — ніобій;	В — вольфрам;	Д — мідь;
М — молібден;	Н — нікель;	Г — марганець;
К — кобальт;	С — кремній;	Ф — ванадій;
Т — титан;	Ю — алюміній;	Х — хром;
Ш — магній;	А — азот;	Л — берилій;
Р — бор;	П — фосфор;	Ц — цирконій.

Залежно від марки сталей торці фарбують у такий колір:

червоний і зелений	— Ст0, БСт0, Ст1;
білий і чорний	— БСт1, Ст2, БСт2;
жовтий	— ВСт2, Ст3, БСт3, ВСт3;
червоний	— Ст4, БСт4;
чорний	— ВСт4, Ст5, БСт5;
синій	— 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	— хромисті;
коричневий і синій	— марганцеві;
жовтий і чорний	— хромонікелеві;
зелений і фіолетовий	— хромомолібденові;
алюмінієвий і червоний	— високолеговані хромонікелеві;
алюмінієвий і синій	— високолеговані хромонікелетитанові.

## 14.2. ЗВАРЮВАНІСТЬ СТАЛЕЙ

Якісне утворення зварного з'єднання визначається властивостями зварюваних металів, їх хімічним складом, вибором електродного й присаджувального металу, режимами зварювання, температурою нагрівання та ін. На зварюваність значно впливає хімічний склад сталі. Зварюваність сталі змінюється залежно від вмісту вуглецю та легиуючих елементів. Вплив окремих елементів проявляється по-різному, особливо в поєднанні з вуглецем.

Основні ознаки, що характеризують зварюваність сталей, — схильність до утворення тріщин і механічні властивості зварного з'єднання, які визначаються за допомогою зварювання контрольних зразків.

Знаючи хімічний склад сталі, можна визначити її зварюваність за еквівалентним вмістом вуглецю, який визначають за формулою:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10},$$

де цифри 20, 15 і 10 є постійними величинами, а символи кожного елемента означають максимальний вміст його в даній марці сталі у відсотках.

Одержаний за цією формулою еквівалентний вміст вуглецю вказує про зварюваність сталей, які умовно поділяються на чотири групи (див. підрозділ 4.7):

- добре зварювані сталі ( $C_{екв}$  не більше 0,25%);
- задовільно зварювані сталі ( $C_{екв} = 0,25 \div 0,35\%$ );
- 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, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст3, Ст4, 08, 10, 15, 20, 25	15ХА, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 15Х, 15НМ, 10ХСНД	08Х20Н14С2, 08Х23Н18, 03Х18Н11, 08Х18Н10
Задовільна	БСт5сп, 30, 35	12Х2Н4А, 12ХН2, 20ХГСА, 30Х, 15ХСНД, 25ХГСА	09Х14А, 12Х14А, 30Х13, 12Х17, 25Х13Н2
Обмежена	Ст6пс, Ст6сп, БСт6пс, БСт6сп, 40, 45, 50	35ХМ, 30ХГСА, 40Х, 40ХМФА, 40ХН, 20Х2Н4А	12Х18Н9, 17Х18Н9Т, 20Х18Н9, 20Х23Н18, 36Х18Н25С2
Погана	65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7÷У13, У7А÷У13А	50ХГ, 50ХГСА, 60ХС, 45ХН3МФА	Х12, Х12М, 9ХС, 5ХГМ, ХВГ, 5ХНТ,Х

Добра зварюваність низьковуглецевих сталей характеризується міцним зварним з'єднанням з основним металом без зниження пластичності в біляшовній 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 різнорідні — погано. За властивостями метал шва і метал зони термічного впливу є неоднорідними. Ознака поганої зварюваності — це схильність до утворення тріщин, які недопустимі у зварних з'єднаннях. Зварюваність металів характеризує схильність до перегрівання, гартування, утворення тріщин та інших дефектів, що утворюються при зварюванні.

Характеристикою зварюваності термічно зміцнених сталей є схильність до втрати міцності, яка проходить у зоні термічного впливу при температурах 400–720°C залежно від температури відпуску сталі у процесі її виготовлення на заводі.

Для виготовлення міцної зварної конструкції необхідно детально вивчити зварюваність сталі.

### 14.3. ВПЛИВ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗВАРЮВАНІСТЬ СТАЛЕЙ

**Вуглець** при вмісті в сталі до 0,25% зварюваність не погіршує. При більшому вмісті зварюваність погіршується, бо в зонах термічного впливу утворюються гартовані структури, що призводять до тріщин. Підвищений вміст вуглецю в присаджувальному 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 виникає небезпека появи тріщин, тому що марганець сприяє загартованості сталі.

**Кремній (С)** у межах від 0,02 до 0,35% труднощів при зварюванні не викликає. При вмісті від 0,8 до 1,5% зварювання утруднюється через високу рідкотекучість 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.

**Молибден (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 вуглецем і припиняють утворення карбіду хрому. При цьому зварюваність покращується.

**Мідь (Д)** покращує зварюваність, підвищує міцність, пластичність і корозієстійкість сталі.

**Кисень** погіршує зварюваність сталі, понижує 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 холодноламкість (холодні тріщини).

**Сірка** є шкідливою домішкою і сприяє утворенню гарячих тріщин. Зварюваність із підвищенням вмісту сірки різко погіршується.

### 14.4. ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Більшість зварних конструкцій виготовляють із низьковуглецевих сталей, які містять до 0,25% вуглецю. Вони відносяться до добре зварюваних сталей практично всіма видами зварювання плавленням. Низьковуглецеві сталі зварюються без обмежень при використанні типових зварювальних матеріалів (див. розділ 6).

Для забезпечення стійкості швів проти утворення тріщин і збереження високої пластичності металу шва, зварювальні матеріали повинні містити менше вуглецю, ніж основний метал, що компенсується додатковим легуванням шва кремнієм і марганцем. Механічні властивості металу біляшовної зони порівняно з основним металом можуть відрізнитися через незначне зміцнення металу в зоні перегріву. При зварюванні киплячих і напівспокійних (старіючих) сталей на ділянці рекристалізації біляшовної зони можливе зниження ударної в'язкості. Метал біляшовної зони багатшарових швів крихкіший від металу одношарових.

Зварювання низьковуглецевих сталей виконується без попереднього підігріву і наступної термообробки. При зварюванні низьковуглецевих сталей з верхньою межею вмісту вуглецю (0,27%) можуть виникати кристалізаційні тріщини в кутових швах, однобічних швах з повним проваром кромки, першому шарі багатшарових стикових швів. У таких випадках використовують попередній підігрів до 100–150°C, особливо при виконанні перших шарів на товстому металі (більше 15 мм) і температурі повітря нижче мінус 5°C. Необхідність попереднього підігріву і можливої

термообробки має визначатися у кожному конкретному випадку. У конструкцій з кутовими перервними 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 напруг, уникнення жолоблення конструкції після зварювання та механічної обробки.

При товщині сталі понад 25 мм попередній підігрів обов'язковий у всіх випадках, незалежно від температури навколишнього середовища.

Зварювання сталі товщиною понад 20 мм виконують способами, що забезпечують зменшення швидкості охолодження: 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. Електроди Э38 використовуються для виготовлення невідповідальних виробів, Э42 і Э46 — для відповідальних, а електроди Э42А, Э46А, Э50, Э50А — для особливо відповідальних виробів. При зварюванні сталі товщиною понад 15 мм і в незручних для зварника положеннях необхідно використовувати електроди з підвищеною міцністю наплавленого металу типів Э46, Э50, Э50А та ін.

Якщо необхідно одержати однакову міцність наплавленого та основного металу, то тип електрода підбирають за міцністю основного металу. Наприклад, сталь СтЗсп має границю міцності 380–440 МПа. Середня границя міцності становить 410 МПа. Вибирають тип електрода Э42, який забезпечує границю міцності наплавленого металу 420 МПа. Відповідно до типу електрода (Э42) вибирають його марку.

Низьковуглецеві сталі зварюють на максимально можливих режимах, які забезпечують високу продуктивність й високу якість зварного шва та з'єднання. Під якістю розуміють відсутність дефектів (газових пор, підрізів, відшарування металу шва, непровару, шлакових 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 14.2

**Режими механізованого зварювання сталей  
у вуглекислому газі стикових з'єднань без скосу кромки**

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на 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.

Таблиця 14.3

**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 кромки</i>			
18–26	280–300	28–30	16–20
	380–400	30–32	18–22
18–26	420–440	30–32	16–22
<i>X-подібне розчищення кромки</i>			
12–18	380–400	30–32	16–20
20–26	420–440	30–32	16–22
28–40	440–460	32–34	16–22

Примітка. 1. Дані наведено для зварювання дротом діаметром 2 мм; виліт електрода — 12–20 мм.

2. У чисельнику — режими для першого проходу і підварочного шва.

Таблиця 14.4

**Режими автоматичного та напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі таврових з'єднань сталей без скосу кромки (двобічні та однібічні шви)**

Катет 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 зазор, мм	Тип з'єднання
		сила зварювального струму, А	напруга на дузі, В				
3	1,6	170–210	24–26	79–126	30–45	1,5	Стикове
3	1,2	130–170	24–26	56–91	25–40	1,5	Стикове
3	1,6	170–220	24–26	79–126	25–40	1,0	Таврове
4	2,0	180–300	24–26	79–156	18–26	2,0	Стикове
4	2,0	180–320	24–26	101–156	24–30	1,5	Таврове
5	2,0	270–350	26–28	126–156	18–24	2,0	Стикове
5	2,0	270–350	26–28	126–156	24–30	1,5	Таврове
6	2,0	300–400	26–28	156–306	18–24	3,0	Стикове
6	2,0	350–450	30–32	156–306	20–30	2,0	Таврове

Таблиця 14.6

**Режими механізованого зварювання арматурних стрижнів відкритою 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 біляшовної зони виникають крихкі загартовані ділянки металу, великі внутрішні напруги, які спричинюють виникнення тріщин. Чим більший вміст вуглецю у сталі, тим сильніше вона загартовується при швидкому охолодженні, вища її крихкість і схильність до утворення тріщин.

Стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин досягається зниженням кількості вуглецю в металі шва шляхом застосування електродних стрижнів і присаджувального дроту з пониженим вмістом вуглецю, а також зменшенням частки основного металу в металі шва. Останнє досягається розчищенням кромки і зварюванням на режимах, які забезпечують мінімальне проплавлення основного металу. Цьому сприяють електроди з великим коефіцієнтом наплавлення.

Для одержання пластичного металу шва і біляшовної зони виконують попередній та супровідний підігрів, а також повільне охолодження зварного шва. Температура підігріву має бути тим вищою, чим більший вміст вуглецю в сталях і знаходиться в інтервалі 100–450°C. Попередній підігрів невеликих конструкцій проводять у печах (електричних, газових). Якщо конструкція масивна, то температуру підігріву підвищують із урахуванням деякого її охолодження в процесі транспортування і встановлення. У таких випадках використовують підігрів газовим пальником і паяльною лампою. Температуру підігріву визначають за допомогою термоолівців і термофарб (див. підрозділ 7.1).

Для забезпечення надійної роботи зварної конструкції після зварювання рекомендується виконувати відпал і високий відпуск. Для цього необхідно відразу ж після зварювання помістити конструкцію у відпалювальну піч, нагріту до температури 675–700°C і після витримання повільно охолодити разом з піччю до 150–100°C з подальшим охолодженням на повітрі.

Зварювання середньовуглецевих сталей при температурі навколишнього середовища нижче 5°C не рекомендується, особливо при вмісті вуглецю більше 0,4% через можливість виникнення крихкості й тріщин.

Для підвищення пластичності металу шва та стійкості проти виникнення тріщин необхідно знижувати глибину проплавлення (діаметр електрода і струм), використовувати електроди типів Э42А, Э46А, Э50А. Кращі результати дає застосування електродів із фтористокальцієвим покриттям марок УОНИ-13/45 і УОНИ-13/55, які забезпечують достатню міцність і високу стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин.

Для уникнення труднощів, які виникають при зварюванні середньовуглецевих сталей, крім підігріву, використовують модифікування металу шва і дводугове зварювання в окремі ванни. При зварюванні необхідно уникати накладання широких валиків, зварювати короткою дугою, поперечні рухи змінити поздовжніми, 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 термообробкою (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 протягах категорично забороняється.

#### 14.7. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОЗМІЦНЕНИХ СТАЛЕЙ І СТАЛЕЙ ІЗ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Для виготовлення різноманітних конструкцій широко використовуються термозміцнені сталі, а також сталі із захисним покриттям. Сталі підвищеної міцності дають можливість зменшити товщину виробів. Зварювальні матеріали підбирають з урахуванням забезпечення однакової міцності металу шва і основного металу. Режими й техніка зварювання термозміцнених сталей такі ж, як і для звичайної вуглецевої сталі ідентичного хімічного складу. Основною трудностю при зварюванні є зменшення міцності ділянки біляшовної зони, яка піддається нагріванню до 400–700°C (проходить самовідпуск). Тому для термозміцнених сталей рекомендуються малопотужні режими зварювання та інші способи з мінімальним відведенням тепла в основний метал.

При зварюванні сталей із захисним покриттям можливе 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 зазор збільшують у 1,5 рази, швидкість зварювання зменшують на 10–20 %, електрод переміщують вздовж шва з поздовжніми коливальними рухами. Кращі результати одержують при використанні електродів з рутіловим покриттям, які забезпечують мінімальний вміст кремнію в металі шва. Зварювання виконують при наявності сильної місцевої вентиляції. Після закінчення зварювання необхідно відновити захисний шар покриття на поверхні шва і біляшовної зони.

#### 14.8. ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Низьколегованими називають сталі, які містять до 3% легуючих елементів. Вони поділяються на низьковуглецеві, теплостійкі, 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 розкиснюють алюмінієм або титаном.

Низьколеговані сталі постачають у гарячокатаному стані або після нормалізації. Вони відрізняються за експлуатаційними властивостями і за чутливістю до процесу зварювання.

Легування сталі марганцем, кремнієм та іншими елементами сприяє утворенню в зварних з'єднаннях гартованих структур. Тому режими зварювання більш обмежені, ніж при зварюванні низьковуглецевих сталей. Забезпечення однакової міцності металу шва і основного металу досягається за рахунок легування його елементами, які переходять з основного металу. Інколи для зменшення крихкості металу шва його додатково легують через зварювальний дріт. Стійкість металу проти кристалізаційних тріщин підвищують шляхом зменшення в металі шва вмісту вуглецю, сірки, фосфору та інших елементів за рахунок використання зварювального дроту з меншим вмістом указаних елементів і вибору оптимальної технології зварювання. Ручне дугове зварювання низьколегованих сталей виконують електродами з фтористо-кальцієвим покриттям типу Э42А, Э46А, Э50А 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-АН10 та ін.

Низьколеговані низьковуглецеві сталі 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД при зварюванні не гартуються і не схильні до перегрівання. 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 гартовані структури й перегріватися. Їх зварюють при знижених значеннях струму електродами меншого діаметра порівняно із зварюванням низьковуглецевої сталі. Якщо температура навколишнього середовища нижча -10°C, то потрібний попередній підігрів сталей до 120–150°C.

При температурі нижче мінус 25°C зварювання загартованих сталей забороняється.

Низьколеговані середньовуглецеві сталі типу 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА мають вищу здатність до гартування. Тому їх перед зварюванням попередньо підігрівають 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, запасом пластичності й стабільністю структури при температурах до 600°C. Підвищена міцність сталей при високих температурах досягається за рахунок зміцнення 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, 20Х1М1Ф1ТР, 25Х1МФ, 20Х3МВФ, 15Х5М, 15Х5ВФ та ін. Ці сталі постачаються споживачам у стані після термічної обробки (гартування плюс високий відпуск і відпал).

Ручне дугове зварювання теплостійких сталей передбачає використання дев'яти типів електродів: Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-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. Багатошарове 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 у монтажних умовах при неможливості підігріву й термічної обробки використовують електроди АН-ЖР-2 (нікелеві), які придатні для зварювання у всіх просторових положеннях.

#### 14.10. ЗВАРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

До середньолегованих сталей 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 виникають специфічні труднощі. Перш за все, при зварюванні сталей з підвищеним вмістом вуглецю та легуючих елементів, можливе виникнення гарячих і холодних тріщин у металі зварного з'єднання, а також нерівноцінні 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 режими 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 перерізу застосовують каскадний і блочний способи. Електродні матеріали підбирають таким чином, щоб їх хімічний склад максимально відповідав хімічному складу основного металу.

## 14.11. ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Високолегованими називають сталі, які містять один або декілька легуючих елементів у кількості 10–50%. Якщо вміст легуючих елементів перевищує 50%, то замість слова сталь вживають слово сплав.

Високолеговані сталі та сплави класифікуються за системою легування, структурою й властивостями. За системою легування сталі поділяють на хромисті, хромонікелеві, хромомарганцеві, хромонікелемарганцеві та ін. Найпоширеніші високолеговані сплави: нікелеві, нікелехромисті, нікелехромовольфрамові й нікелехромокобальтові.

За структурою високолеговані сталі поділяються на мартенситні (09X16H4B, 11X11H2B2MФ та ін.), мартенситно-феритні (15X12BHMФ, 12X13 та ін.), феритні (08X13, 15X25T та ін.), аустенітно-мартенситні (07X16H6, 08X17H5M3), аустенітно-феритні (08X20H14C2, 08X18Г8H2T) й аустенітні (03X17H14M2, 03X16H15M3B, 12X18H9, 45X14H14B2M та ін.). У деяких аустенітних сталях нікель, як дефіцитний метал, частково або повністю замінюють марганцем та азотом (10X14Г14H3, 12X17Г9H4A й ін.).

За системою зміцнення високолеговані сталі та сплави поділяють на карбідні, які містять 0,2–1,0% вуглецю, боридні (утворюються бориди заліза, хрому, ніобію, молібдену, вуглецю й вольфраму), з інтерметалідним зміцненням (зміцнення дрібнодисперсними частинками).

За властивостями високолеговані сталі й сплави поділяють на корозієстійкі (нержавіючі), жаростійкі (не окиснюються при температурах до 1300°C), жароміцні (здатні працювати при температурах вище 1000°C без зниження міцності), стійкі проти спрацювання та ін.

Технологічні особливості зварювання високолегованих сталей пов'язані з їх фізичними властивостями і системою легування. Знижена теплопровідність (до 2 разів при підвищених температурах), збільшений коефіцієнт лінійного розширення (до 1,5 разів) і великий електричний опір (у 5 разів більший ніж у вуглецевих сталях) сприяють великій швидкості плавлення металу, великій глибині проплавлення та коефіцієнту наплавлення. Тому для зварювання високолегованих сталей зменшують величину зварювального струму на 10–20% порівняно з вуглецевими, використовують укорочені електроди з покриттям основного й змішаного типу (фтористокальцієві), зменшують виліт електрода та збільшують швидкість подачі дроту при механізованому зварюванні.

Для запобігання виникненню міжкристалічної корозії при зварюванні високолегованих сталей в металі шва створюють двофазну

структуру (аустеніт і ферит) для зменшення зерен, обмежують вміст шкідливих домішок (сірки, фосфору, свинцю, олова, бісмута), легують титаном, ніобієм, танталом, ванадієм, цирконієм (вони активно взаємодіють із вуглецем і перешкоджають утворенню карбідів хрому). Крім того використовують електродні покриття основного та змішаного типу. Для попередження виникнення тріщин створюють меншу жорсткість виробу, виконують попередній і супровідний підігрів до 250–300°C, обмежують вміст шкідливих домішок, уводять легуючі елементи (молібден, марганець, вольфрам), складають деталі із зазором (1,5–2 мм), зменшують розбризування металу та об'єм зварної ванни.

Корозієстійкі 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 міжкристалітну 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 з попереднім підігрівом до 300°C і вище з наступною термічною обробкою. Шви краще виконувати тонкими електродами діаметром 1,6–2,0 мм або електродним дротом діаметром 1,2–2 мм при мінімально можливому зварювальному струмі.

При зварюванні корозієстійких сталей не допускається збудження дуги на основному металі і попадання бризок на основний метал. Складки, заглиблення, щілини, непровари можуть бути джерелом корозії. Кращу корозієстійкість 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 кінцем електрода.

При зварюванні в аргоні деяких аустенітних сталей на межі сплавлення спостерігається утворення пор. Недопущення появи пор досягають введенням до аргону 2–5% кисню. Решта 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 [ $I_{зв} = (15 \div 35)d_e$ ], на постійному струмі зворотної полярності, нитковими валиками без коливальних рухів, короткою дугою. Використовують електроди із стрижнем такого ж хімічного складу, як і основний метал, з урахуванням показників

зварюваності та експлуатаційних вимог. Наприклад, при зварюванні кислотостійкої хромонікелевої сталі 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 небезпеки міжкристалічної корозії. Зварювання плавким електродом проводять на струмах, які забезпечують струминне 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 присаджувального дроту постійно повинен знаходитись у струмені захисного газу.

Зварювання під флюсом використовують для з'єднань металів товщиною 3–50 мм. Порівняно із зварюванням вуглецевих сталей, при зварюванні високолегованих у 1,5–2 рази зменшується виліт електродного дроту, використовуються електроди діаметром 2–3 мм на постійному струмі зворотної полярності з використанням безокиснювальних низькокремністих фтористих флюсів (АНФ-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. Ще однією особливістю є різний коефіцієнт лінійного розширення металів. Для вирішення цієї проблеми використовують зварювальні матеріали, які сприяють одержанню аустенітного

металу шва з високим вмістом нікелю. Нікель має здатність забезпечувати стабільну зону сплавлення металів. Вміст нікелю у металі шва залежить від температури експлуатації виробу.

Щоб зекономити нікель, зварні з'єднання різнорідних сталей поділяють на чотири групи: перша — це вироби, 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 Х15Н5Д2Т або аустенітно-феритного класу 1Х21Н5Т 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 зниження схильності до тріщин.

Коли зварюють сталі Х15Н5Д2Т 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 напрямів зварювання різнорідних металів є зварювання в твердо-рідкому стані, тобто розплавленні одного з металів, який має нижчу температуру плавлення. Хімічні зв'язки в такому з'єднанні утворюються в процесі змочування рідким металом поверхні твердого і з наступною дифузиею. Цей спосіб можливий при зварюванні металів із високою різницею температури плавлення.

Широко використовується зварювання металів із розплавленням більш легкоплавкого металу та з нанесенням покриття на поверхню більш тугоплавкого металу. Зварювання алюмінію й сплавів на його основі з сталями 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 (насичення алюмінію).

При зварюванні ніобієвого сплаву з корозієстійкими сталями 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 корозієстійкої 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 дріт марки Св-06X19N10M3T. Для зварювання аустенітними електродами застосовують постійний струм зворотної полярності. Найчастіше шов виконується спочатку з боку вуглецевої сталі, а потім наплавлений метал з боку плакованого шару захищається і зварюється вже плакований шар. Дугове 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 середньовуглецевих сталей?
5. Що є причиною утворення пор і тріщин при зварюванні термозміцнених 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 чавуни з вмістом вуглецю до 4%. За структурою чавуни поділяються на білі, сірі й ковкі; за хімічним складом – на леговані та нелеговані.

У білому чавуні вуглець хімічно зв'язаний у карбіді 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 утворювати цементит і деталь утратить 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 опір при розтягу в кгс/мм<sup>2</sup>, друге – відносне видовження в процентах (КЧ30-6, КЧ33-8, ... КЧ80-1,5).

Сірий чавун використовується в якості конструкційного матеріалу. У ньому більша частина вуглецю знаходиться у вільному стані (графіт). Сірий чавун добре обробляється. Температура плавлення становить 1100–1250°C. Чим більше вуглецю, тим нижча температура плавлення й вища рідкотекучість.

**Марганець** зв'язує вуглець і перешкоджає виділенню графіту. Цим сприяє 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.

**Кремній** зменшує розчинність вуглецю у залізі, сприяє розпаду цементиту з виділенням вільного графіту. При зварюванні проходить окиснення кремнію, оксиди якого мають температуру плавлення вищу, ніж зварювальний метал, і тим самим погіршується процес зварювання.

**Фосфор** у чавунах підвищує рідкотекучість і покращує зварюваність, але знижує температуру кристалізації, підвищує твердість і крихкість. Вміст фосфору не повинен перевищувати 0,3%.

**Сірка** погіршує зварюваність чавуну, знижує міцність і сприяє утворенню гарячих тріщин. Сірчане залізо перешкоджає виділенню графіту й сприяє відбілюванню чавуну. Вміст сірки не повинен перевищувати 0,15%. Для нейтралізації сірки, вміст марганцю повинен бути в 3 рази більшим.

За ГОСТом 1412-85 марки сірого чавуну позначають буквами СЧ і числом, яке вказує границю міцності на розтяг у кгс/мм<sup>2</sup> (СЧ10, СЧ15,...СЧ35). Високоміцний чавун одержують із сірого введенням у рідкий чавун при температурі не нижчій 1400°С 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/мм<sup>2</sup> (ВЧ35, ВЧ40,...ВЧ100).

Леговані чавуни мають спеціальні домішки хрому, нікелю, молібдену та ін., завдяки яким підвищується кислотостійкість, жароміцність, стійкість проти спрацювання, міцність при ударних навантаженнях тощо. За ГОСТом 7769-82 марки легованих чавунів позначають буквою Ч і наступними буквами, які означають умовні позначення легуючих елементів. Цифри після букв — вміст цих легуючих елементів у відсотках. Коли вміст легуючих елементів у чавуні становить 1%, то цифри не ставлять. Буква Ш у кінці марки означає, що графіт кулястої форми (ЧНХТ, ЧЮ22Ш, ЧН20Д2Ш, ЧХ9Н5).

Антифрикційні чавуни використовують для виготовлення підшипників ковзання, повзунів, поршневих кілець, втулок. Згідно ГОСТу 1585-85 чавун буває: сірий (АЧС-1,...АЧС-6); високоміцний (АЧВ-1, АЧВ-2); ковкий (АЧК-1, АЧК-2).

Цифри означають порядковий номер марки за ГОСТом.

## 15.2. ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

Чавуни відносяться до категорії важкозварюваних сплавів. Труднощі при зварюванні зумовлені його хімічним складом, структурою та механічними властивостями.

Чавунні деталі, які тривалий час працюють при високих температурах, майже не піддаються зварюванню через окиснення вуглецю й кремнію під впливом високих температур (300–400°С і вище). При цьому чавун стає крихким і його називають горілим.

Погано зварюються чавунні деталі, які тривалий час знаходилися у дотику з маслом і гасом. При цьому поверхня чавуну насичується маслом і гасом, які при зварюванні згоряють і утворюють газу, сприяючи появі пор у шві.

Зварюваність і властивості зварних з'єднань залежать від структури чавуну. Структура визначається хімічним складом і технологією (попередній підігрів, швидкість охолодження та ін.). Головний процес, який формує структуру — це графітизація (виділення вуглецю у чавуні). Вона є сприятливою тому, що виділення вуглецю у вільному стані зменшує крихкість чавуну. Всі елементи, які містяться у чавунах, поділяють на дві групи:

- графітизатори (сприяють графітизації) — С, Si, Al, Ni, Co, Cu;
- відбілювачі (затримують графітизацію і сприяють утворенню цементиту Fe<sub>3</sub>C) — S, V, Cr, Sn, Mo, Mn.

Низька пластичність чавунів призводить до появи тріщин і напруг при зварюванні. Ці напруги можуть бути внутрішніми, які виникають при нерівномірному нагріванні та охолодженні, й зовнішніми, які виникають від перенавантажень при експлуатації виробу.

Ще однією труднощію зварювання є схильність чавуну гартуватись при швидкому охолодженні. На загартованих ділянках чавун стає твердим (800 НВ) і не піддається механічній обробці. Утворення гартованих структур супроводжується появою напруг та утворенням тріщин. Питома густина загартованої мікроструктури (мартенсит) значно нижча питомої густини заліза й ця різниця призводить до виникнення напруг і тріщин між зернами.

Здатність чавуну до відбілювання при швидкому охолодженні призводить до утворення відбіленого шару на металі шва та основному металі. Цей шар має низьку пластичність і під впливом розтягуючої сили, яка утворюється при охолодженні, разом із наплавленим металом відколюється від основного металу або спричинює утворення тріщин.

Чавуни не мають тістоподібного стану при переході від рідкого стану в твердий, що утруднює його зварювання в різних просторових положеннях. Швидкий перехід з рідкого стану в твердий та низька температура плавлення (1142°) призводять до утворення пор. Тому газу (СО і СО<sub>2</sub>) не встигають виділитись з металу.

Відмінність чавунних виробів за хімічним складом, термічною обробкою й будовою потребує використання різних технологій та способів зварювання. Високоміцні і ковкі чавуни (дрібнозернисті) зварюються краще сірих. Дрібнозернисті сірі зварюються краще крупнозернистих. Погано зварюються чорні чавуни, 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°С);
- напівгаряче (з підігрівом до 300–400°С).

Найкращі результати дає гаряче зварювання. При цьому зменшується швидкість охолодження металу, що забезпечує повну

графітизацію металу шва та відсутність відбілювання в біляшовній зоні, а також виключає можливість появи зварних напруг.

Спосіб холодного зварювання потребує менших затрат, але при накладанні валика на холодну поверхню чавуну внаслідок швидко відводу тепла в біляшовній 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); залізнікелевих (ЦЧ-3А), міді (із залізним порошком у покритті — ОЗЧ-1), хромо-нікелевого сплаву з мідною оболонкою (АНЧ-1), чавуну з підвищеним вмістом нікелю (відчизняні та зарубіжні Superfonute Ni); звичайні покриті електроди з використанням шпильок, анкерів і сталевих планок; порошковий дріт; газове зварювання.

Використовуючи електроди з різних сплавів із покриттям різноманітного складу, можна одержати метал шва з необхідною міцністю й в'язкістю, але уникнути гартування в зоні плавлення при зварюванні без підігріву виробу не вдається. Можна тільки зменшити товщину загартованого шару, використовуючи багато-прохідне зварювання на малих зварювальних струмах.

**Зварювання та наплавлення чавунів сталевими 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 проплавлення чавуну за рахунок використання електродів малого діаметра та малих струмів; зварювання короткими ділянками довжиною 40–60 мм з перервами для їх охолодження до температури 60–80°C; послідовне накладання валиків на різних ділянках шва; підсилення шва останніми шарами за висотою й шириною.

Кращі результати одержують при використанні електродів УОНИИ-13/45 на постійному струмі зворотної полярності. Високої міцності зварного з'єднання при цьому не досягають. Через швидке охолодження чавун у зоні сплавлення відбілюється та загартовується, що утруднює наступну механічну обробку. Великі внутрішні напруги й крихкість металу призводять до утворення тріщин.

При 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 СЧС-ТЗ** виконують без підігріву, але якщо деталі масивні, то їх підігрівають до температури 150–250°C. Ці електроди призначені для холодного зварювання конструкцій з високоміцного, ковкого й сірого чавуну, а також у поєднанні з сталями, для зварювання дефектів у відливках і для попереднього наплавлення першого шару на спрацьовані чавунні деталі під наступне наплавлення спеціальними електродами.

Електроди ЦЧ-4 складаються з сталевго стрижня (марки дроту Св-08 або Св-08А) із фтористо-кальцієвим покриттям (у покритті вміст ферованадію доходить до 70%). Електроди ЦЧ-5 мають сталевий стрижень і покриття з графітизованими елементами. Для зварювання використовують постійний струм зворотної полярності або змінний струм від трансформатора з напругою холостого ходу не менше 70 В. Для діаметра електрода 3,0 мм сила зварювального струму становить 65–80 А, для 4,0 – 90–120 і для 5,0 мм – 130–150 А. Тимчасовий опір розриву дорівнює 480–510 Н/мм<sup>2</sup>, твердість – 160–190 НВ. Продуктивність наплавлення для електродів діаметром 4 мм становить 18,0 г/хв; витрати електродів на 1 кг наплавленого металу – 1,80 кг. Перед зварюванням електроди просушують при температурі 350°C протягом години. Наплавлений метал відрізняється підвищеним вмістом ванадію (9,5%) і низьким вмістом вуглецю (до 0,15%).

Зварювання виконують невеликими ділянками довжиною 25–35 мм із наступним охолодженням на повітрі до 60°C. При зварюванні виробів з ковкого чавуну довжина валика може бути збільшена до 80–100 мм. Для зменшення відбілювання чавуну в зоні сплавлення і для полегшення механічної обробки, глибина проплавлення має бути мінімальною.

При багатошаровому зварюванні перший шар виконують електродами малого діаметра (3 мм) урозкид із перервами, щоб температура виробу поблизу місця зварювання не перевищувала 50–60°C. Шар виходить тонким, пористим і з поперечними тріщинами. Другий шар наноситься 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 проковування середніх шарів. Цей спосіб не можна використовувати для чавунних виробів, які використовують при температурах вище 100°C тому, що в місці зварювання можуть виникнути додаткові напруги (через різницю значень коефіцієнта теплового розширення сталі й чавуну), а це в свою чергу призведе до появи тріщин.

**Зварювання чавунів електродами марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-4, ЕПЧ із чавунними прутками марок А і Б** (табл. 15.1) виконують без підігріву або при напівгарячому зварюванні. Покриття електродів ОМЧ-1 містить 25% крейди, 41 графіту, 9 феромарганцю і 25% кварцового піску.

Таблиця 15.1

**Хімічний склад і призначення чавунних прутків (ГОСТ 2671-80)**

Марка	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Діаметр, мм	Довжина, мм	Призначення
А	3-3,6	3-3,5	0,5-0,8	0,08	0,08	0,05	0,3	4	250	Для газового зварювання і для стрижнів електродів при гарячому зварюванні крупногабаритних відливок із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
								16	700	
Б	3-3,6	3,6-4,8	0,5-0,8	0,08	0,08	0,05	0,3	4	250	Для стрижнів електродів при гарячому, напівгарячому, холодному зварюванні деталей складного профілю з тонкими стінками і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
								16	700	
І заводу «Станколіт»	3-3,6	3-3,5	0,5-0,8	0,08	0,2-0,5	0,1+Ti 0,1	0,1+Pb 0,1	4	250	Зварювання крупногабаритних відливок із загальним підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
								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	0,1+Cu 0,1	4	250	Зварювання деталей складної форми (профілю) з тонкими стінками і місцевим підігрівом
								6	350	
								8	450	
								10	450	
								12	500	
								14	600	
								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 різних 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-залізни електроди ОЗЧ-1 складаються з мідного стрижня і покриття: 50% залізного порошку; 27 мармуру; 7,5 плавикового шпату; 4,5 кварцу; 2,5 феромарганцю; 2,5 феросиліцію; 6,0 феротитану та 0,5% соди. Вони придатні для зварювання в нижньому й похилому положеннях на постійному струмі зворотної полярності. Метал шва пластичний, щільний та міцний. Зварюють обережно, щоб не допустити крихкого загартованого шару й тріщин. Механічна обробка утруднена та виконується твердосплавним інструментом. Наплавлений метал складається з 89% міді і 11% заліза. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 35А на 1 мм діаметра електрода. Зварюють короткою дугою невеликими ділянками довжиною 30-60 мм з очищенням і проковуванням кожного валика. Після обриву дуги зварювання продовжують при охолодженні металу шва до температури 50-60°C. Використовують електроди діаметром 4-7 мм.

Широке використання мають **комбіновані мідно-сталеві електроди**: мідний стрижень із сталевим сплетінням, сталевий стрижень із мідною оболонкою, пучок з мідних і сталевих електродів. Комбіновані електроди виготовляють з міді будь-якої марки. На мідний стрижень діаметром 4-7 мм і довжиною 300-350 мм накручується сталева 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 біляшовної 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 дуги, електрод розташовують під кутом 50-70° у напрямку зварювання.

Плавлення комбінованого електрода і сплавлювання його з чавуном створює умови для одержання якісного шва, тому що мідь не з'єднується з вуглецем — вона залишається пластичною і в'язкою, а сталь науглецьовується, що підвищує її міцність.

**Зварювання чавунів міднонікелевими і міднокобальтовими електродами МНЧ-1, МНЧ-2** виконують без підігріву. Міднонікелеві електроди складаються з дроту монель-металу (НМЖМц) хімічний склад якого: 28% міді, 2,5 заліза, 1,5% марганцю, решта — нікель або константанового дроту (40% нікелю, 1,5% марганцю, решта — мідь) і фтористокальцієвого покриття (40% графіт, 60% крейда або мармур). Наплавлений метал це залізоміднонікелевий сплав із твердістю НВ135, у перехідній зоні — НВ160, що дозволяє вільно проводити механічну обробку. Недоліком електродів є не забезпечення високої стійкості проти виникнення пор і тріщин. Тому зварювання виконують короткою дугою валиками довжиною 15–20 мм. Після обриву дуги валик проковують і відновлюють зварювання після його охолодження до 50–60°C. Електроди для зменшення вологості просушують при 150–200°C протягом 1–1,5 год. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності електродами діаметром 3–5 мм і силі зварювального струму 90–190 А.

**Залізонікелеві електроди ЦЧ-3А** призначені для зварювання високоміцного магнієвого чавуну з кулястим графітом і сірого чавуну. Електроди ЦЧ-3А складаються з дроту Св-08Н50 і фтористокальцієвого покриття. Наплавлений метал містить 0,3% вуглецю, 5,25 кремнію, 50% нікелю. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності з мінімальним проплавленням чавуну на понижених режимах з розрахунку 30 А на 1 мм діаметра електрода. Рекомендують зварювати короткими швами довжиною 70–100 мм, через 20–30 мм виконувати повторно-зворотні рухи електродом. Після накладання кожного шва необхідне проковування металу в гарячому стані і охолодження до 50–60°C. Електроди забезпечують високу міцність і відсутність тріщин зварного з'єднання та задовільну механічну обробку.

**Зварювання чавунів міднохромонікелевими електродами АНЧ-1** розроблене інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона. Електроди виготовляють з дроту марок Св-04Х19Н19 і Св-04Х19Н9Т, оболонка з червоної міді марки М2 або М3, покриття фтористокальцієве. Наплавлений метал містить 0,13% вуглецю, 4,5 хрому, 2,5 нікелю, 0,65 марганцю, 0,4% кремнію, решта — мідь і залізо. Використовують постійний струм зворотної полярності з розрахунку 30 А на 1 мм діаметра електрода. Зварюють короткими ділянками з проковуванням у гарячому стані відразу після обриву дуги. Перед зварюванням наступної ділянки деталь охолоджують до 40–50°C. Електроди просушують протягом 1 год при температурі 300–350°C. При холодному зварюванні механічна обробка задовільна.

**Зварювання чавунів сталевими електродами з встановленням шпильок** використовують для підвищення міцності зварних з'єднань при ремонті відповідальних крупногабаритних чавунних виробів — станин, рам, кронштейнів та ін. Для цього застосовують сталеві шпильки, які вкручують на різьбі в кромки з'єднуваних

деталей. Вони призначені для зв'язування металу шва з чавуном і передачі зусилля від шва до маси основного металу, яка не піддалася термічному впливу, минуючи крихкі ділянки біляшовної зони.

При зломі виробу з товщиною стінки до 12 мм шпильки можна вкручувати без розчищення кромки. При товщині більше 12 мм виконують V- або X-подібне розчищення під кутом 90°. Якщо на поверхні виробу не допускається виступ наплавленого металу, то розчищення кромки виконують так, як показано на рис. 15.1.

Канавку вирубують на глибину 6–20 мм залежно від товщини виробу. Діаметр шпильок залежить від товщини зварюваного виробу: при товщині до 12 мм діаметр шпильки 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 шпильок), відстань від шпильок до кромки —  $(1,5\div 2,0)d$ , глибина вкручування шпильок —  $1,5d$ , висота частини шпильки, яка виступає, —  $(0,8\div 1,2)d$ . При свердлінні отворів і нарізанні різьби для шпильок не можна використовувати масло. Шпильки вкручують до упору.

Зварювання виконують на малих струмах сталевими електродами діаметром не більше 3–4 мм з тонким покриттям або покриттям УОНИ-13/45. Спочатку шпильки обварюють кільцевими швами врозкид для рівномірного нагрівання деталі. Після обварювання шпильок до дотику кільцевих валиків між собою, виконують наплавлення ділянок між обвареними шпильками також урозкид. Довжина кожного валика не повинна перевищувати 100 мм. Другий шар валиків наноситься перпендикулярно напрямку валиків першого шару.

Після наплавлення на кожну сторону поверхонь кромки зварюють порожнину розчищення і тріщини. При зварюванні деталей великої товщини для зменшення кількості наплавленого металу доцільно використовувати додаткові сталеві зв'язки різних форм і розмірів (рис. 15.2). Зв'язки і проміжки між ними проварюються неповністю. Зверху вся поверхня зварного з'єднання покривається сталевим наплавленим металом.

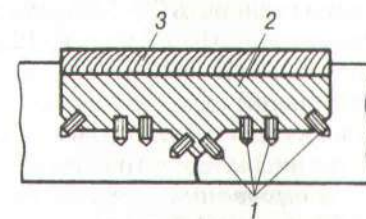


Рис. 15.1. Підготовка чавунного виробу до холодного зварювання з сталевими шпильками:  
1 — сталеві шпильки; 2 — сталевий зв'язок; 3 — наплавлення електродом

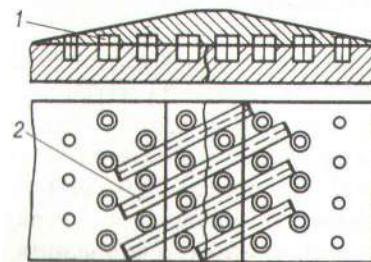


Рис. 15.2. Схема розташування сталевих зв'язок у металі шва при холодному зварюванні чавунів:  
1 — шпильки; 2 — сталеві зв'язки

## Флюси для зварювання чавуну вугільним електродом

Номер флюсу	Склад, %
1	100 плавленої бури
2	100 прокаленої бури
3	100 технічної бури
4	56 прокаленої бури, 22 вуглекислого натрію, 22 вуглекислого калію
5	50 технічної бури, 50 двовуглекислого натрію
6	23 плавленої бури, 27 вуглекислого натрію, 50 натрієвої селітри
7	50 прокаленої бури, 50 натрієвої селітри, 4 гасу (понад 100)

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 кінців 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 кромки металу, виводить оксиди і неметалеві домішки з розплавленого металу, а також сприяє 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 електродами 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

Холодне зварювання чавунів сталевими електродами з встановленням шпильок 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 енергії. Для дроту діаметром 0,8–1,0 мм зварювальний струм становить 50–75 А, напруга на дузі — 18–21 В, швидкість зварювання — 10–12 м/год. Зварюють короткими швами довжиною 25–30 мм. Після наплавлення першого валика наплавляється відпалювальний валик у тому ж напрямку. Зварювання у вуглекислому газі використовують для з'єднання труб із сірого чавуну, при зварюванні високоміцного чавуну та чавуну з сталями.

**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 см<sup>2</sup>, розташованих у нежорсткому 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 самозахисні 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 безводнева бура, яку перед зварюванням просушують при температурі 400°C і розтирають у порошок (табл. 15.2).

## 15.4. ГАРЯЧЕ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

При гарячому зварюванні чавунів вироби попередньо нагрівають до температури 600–700°C. Для зварювання крупних конструкцій застосовують місцевий підігрів. Гаряче зварювання можна використовувати для виробів обмежених розмірів і маси (до 2,5 т).

При підготовці дефектів до зварювання їх детально очищають від забруднень, розчищають кромки для кращого доступу зварювальної дуги, виконують формування для запобігання витіканню металу із зварної ванни. Формування виконують графітовими й вугільними пластинами, скріпленими формувальною масою із кварцового піску. Форму просушують із поступовою зміною температури від 60 до 120°C. Щоб запобігти збільшенню тріщин їх кінці засвердлюють. Неглибокі тріщини заварюють без розчищення кромки (до 5 мм), а при більшій глибині їх повністю розчищають.

Вироби підігрівають у печах, горнах, спеціальних нагрівальних ямах до температури 600–700°C, а в деяких випадках і до 850°C. Нагрівання до таких високих температур необхідне для 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 засипають шаром дрібного порошку деревного вугілля, а весь виріб з усіх сторін закривають азбестовими листами та сухим піском або охолоджують у печі.

При дуговому зварюванні метал зварної ванни підтримують у рідкому стані до повного заповнення дефекта або заформованого місця. Це забезпечує найбільш повне виділення газів і неметалевих включень із металу шва й рівномірну структуру в металі шва та біляшовній 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 увігнутою поверхнею зварної ванни (рис. 15.3 в) без підрізів, а рідкий чавун добре змочує стінки деталі.

Багатошарове зварювання використовується у випадках, коли неможливо підтримувати всю ванну у рідкому стані.

Зварювання чавунів із нагріванням до 250–400°C називають напівгарячим і використовують коли необхідно виправити невеликий дефект 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.

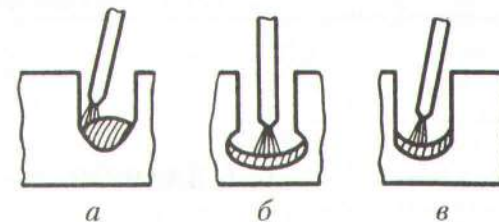


Рис. 15.3. Форма зварювальної ванни залежно від температури її нагрівання:

а — холодна, б — перегріта, в — нормальна

### Контрольні запитання та завдання

1. Які труднощі зварювання чавунів?
2. Чому погано зварюються чавуни, які тривалий час знаходилися у дотику з маслом і газом?
3. Які способи зварювання чавунів?
4. Наведіть марки електродів для холодного зварювання чавунів.
5. Як виконують зварювання чавунів сталевими електродами з встановленням шпильок?
6. Які марки дроту використовують для механізованого зварювання чавунів?
7. Як зварюють чавуни вугільним електродом?
8. Які електроди використовують для гарячого зварювання чавунів?
9. Чому виконують повільне охолодження чавунів?
10. Яке зварювання чавунів називають напівгарячим?

## ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ

### 16.1. ЗВАРЮВАННЯ МІДІ

Мідь широко застосовують при виготовленні виробів різного призначення: трубопроводів, хімічної апаратури, електричних пристроїв та ін. Широке використання міді пов'язане з її особливими фізичними властивостями.

Мідь має високу електро- і теплопровідність, корозієстійкість. Густина міді становить 8,93 г/см<sup>3</sup>, температура плавлення — 1083°C, температура кипіння — 2360°C.

Мідь відноситься до важкозварюваних металів і потребує достатньо високої кваліфікації зварника.

#### 16.1.1. Ручне дугове зварювання міді вугільним або графітовим електродами

Однобічне зварювання міді товщиною до 4 мм виконують без розчищення 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 стикових 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 активним розкиснювачем міді (табл. 16.1). Переріз прутка вибирають у межах 20–25 мм<sup>2</sup>, 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 вводять нагрітим кінцем прутка у зварну ванну під час зварювання.

Перед початком зварювання виріб підігривають до температури 400–500°C у спеціальних печах, вугільною дугою або газовим пальником.

Дуже важливо, щоб зварюваний метал добре змочувався рідким металом. Якщо крапля розплавленого металу, потрапляючи на по-

Таблиця 16.1

#### Присаджувальні матеріали для зварювання міді

Марка	Товщина зварюваної міді, мм	Товщина міді, мм	
		Товщина міді, мм	Діаметр дроту, мм
М-О	Для слабонавантажених конструкцій	< 1,5	1,5
		1,5–2,5	2
		2,5–4	3
М-1	1–2	4–8	4–5
МСр-1	1–10	8–15	6
МНЖ-5-1	3–10	> 15	8
МНЖКТ-5-1-0,2-0,2	> 10	< 1	1,5

Таблиця 16.2

#### Флюси для зварювання міді та її сплавів

Номер флюсу	Склад, %						
	бура прокалена	борна кислота	калій фосфорнокислий	кварцовий пісок	деревне вугілля	кухонна 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

верхню зварюваного металу набирає кулястоподібної 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 стає 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 нагрівання призводить до зниження міцності металу. Після зварювання виконують проковування швів і швидке охолодження у воді.

Режими (табл. 16.3), умови і техніку зварювання міді необхідно детально відпрацювати на зразках і технологічних пробах.

Таблиця 16.3

**Орієнтовні режими зварювання міді вугільним і графітовим електродами**

Товщина зварюваного металу, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Діаметр електрода		Сила зварювального струму, А
		вугільного	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. Стрижень цих електродів виготовляють із мідного дроту, а в деяких випадках — з бронзи Бр. КМц3-1. 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 розбризкування 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/см<sup>2</sup>, 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	Напруга на дузі, В
2	2–3	100–120	25–27
3	3–4	120–160	25–27
4	4–5	160–200	25–27
5	5–6	240–300	25–27
6	5–7	260–340	26–28
7–8	6–7	380–400	26–28
9–10	6–8	400–420	26–28

Примітка. Зварювання виконується на постійному струмі зворотної полярності. Деталі завтовшки понад 10–12 мм зварюють у 3–6 шарів струмом 500 А електродами діаметром 6–8 мм.

**16.1.3. Зварювання міді в середовищі захисних газів**

Зварювання міді в захисних газах поділяють на аргонодугове й 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.КМц3-1, 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 використовується напівавтоматичне зварювання міді плавким електродом у середовищі азоту з використанням звичайних зварювальних напівавтоматів. При цьому збільшуються розмір вихідного отвору наконечника пальника і кількість захисного газу. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності від джерела живлення дуги з жорсткою зовнішньою характеристикою без попереднього підігріву.

Зварювання міді неплавким (вольфрамовим) електродом у середовищі аргону виконують на постійному струмі прямої полярності. В якості присаджувального матеріалу застосовують дріт (прутки) з міді марок М1, М2, М3 або бронзи марок Бр.Х08 і

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 канавками.

Дугу запалюють на графітовій або вугільній пластині й після нагрівання електрода переносять на зварювану деталь. Зварюють із максимальною швидкістю в один прохід.

Для зварювання міді товщиною 4–5 мм використовують електрод діаметром 3,5–4 мм, присаджувальний дріт діаметром 4–5 мм, силу зварювального струму – 300–400 А, витрати аргону – 8–10 л/год. Необхідність попереднього та супровідного нагріву зберігається.

Орієнтовні режими зварювання міді вольфрамовим електро-дом у середовищі аргону й азоту вказані у табл. 16.5 і 16.6.

Таблиця 16.5

**Орієнтовні режими аргоно-дугового зварювання міді вольфрамовим електро-дом**

Підготовка кромки	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		7–8,5	140–150
	2,5	3,5–4,0	2,5–3,0		7,5–9,5	220–230
	3,0	3,5–4,0	2,5–3,0		7,5–9,5	230–240
V-подібне розчищення кромки ( $\alpha = 70...90^\circ$ )	10,0	4–4,5	3,0	3	7–8	1-й прохід 200–300
		4–4,5	5,0		7	2-й прохід 200–350
	12,0	4–4,5	6,0	4	7	3-й прохід 200–400
		4–4,5	3,0		7	250–350*
		4–4,5	3,0		8–10	1-й прохід 250–350
		4–4,5	5,0		8–10	2-й прохід 250–400
X-подібне розчищення кромки ( $\alpha = 70...90^\circ$ )	19	4–4,5	6,0	6	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*
		5–5,5	3,0		10–12	1–2-й проходи 250–400
	25	5–5,5	5,0	8	10–12	3–4-й проходи 250–450
		5–5,5	6,0		10–12	5–6-й проходи 300–500
		5–5,5	3,0		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.

Таблиця 16.6

**Орієнтовні режими зварювання міді у середовищі азоту вольфрамовим електро-дом**

Товщина деталі, мм	Діаметр вольфрамового електрода, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Діаметр вихідного отвору сопла пальника, 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.

**16.1.4. Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом**

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом виконують неплавкими (вугільними) і плавкими електродами (суцільними й порошковими дротами). Використовують плавкі флюси марок АН-20, АН-348А, ОСЦ-45 або керамічний флюс ЖМ-1. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності. Керамічний флюс ЖМ-1 дає можливість використовувати змінний струм. Для зварювання використовують дріт марок М1, М2, М3, а в окремих випадках – дріт марки Бр.КМц 3-1 діаметром 1,6–5 мм.

Стикові з'єднання товщиною від 2 до 6 мм виконують без розчищення кромки за один прохід, а при більшій товщині – з V-подібним сколом кромки під кутом  $60^\circ$  без притуплення із застосуванням мідних вивідних планок. Зварюють на флюсових подушках або графітових підкладках. При автоматичному зварюванні вугільним електродом використовують спеціальні зварювальні головки, а при зварюванні плавкими електродами – звичайні.

Орієнтовні режими автоматичного зварювання міді під флюсом наведені в табл. 16.7.

Таблиця 16.7

**Орієнтовні режими автоматичного зварювання міді під флюсом**

Товщина металу, мм	Розчищення кромки	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, 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, олово, свинець та ін.), які змінюють властивості сплавів.

Завдяки високій міцності, пластичності, корозієстійкості 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 відповідними 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 погіршується якість. 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 порівнянно 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 плавикового шпату, 16 срібного графіту, 32 феросиліцію та 2,5% алюмінію.

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності без коливальних рухів кінцем електрода. Для зниження вигоряння цинку зменшують довжину дуги. Щоб зменшити витікання металу стик захищають із зворотного боку азбестовою підкладкою. При товщині до 4 мм метал зварюють без розчищення кромки, а при більшій товщині розчищення кромки таке ж, як і для сталей. Після зварювання шов проковують, а потім відпалюють при температурі 600–650°C для вирівнювання хімічного складу і надання металу шва дрібнозернистої структури.

Зварювання латуні виконують й іншими електродами залежно від марки зварюваної латуні. Електродні 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 вигоряння цинку. Для зварювання використовують такі ж флюси, як і для зварювання міді. Найбільше поширення має флюс БЛ-3 такого складу: 35% кріоліту, 12,5 хлористого натрію, 50 хлористого калію та 2,5% деревного вугілля. Присаджувальним металом є прутки з латуні марок ЛК62-0,5; ЛМц58-2; ЛМц40-4,5; ЛК80-3; ЛМцЖ55-3-1 або бронзи Бр.ОМцА8-0,7-0,7. Метал завтовшки понад 3 мм зварюють із розчищенням кромки під кутом 60–70° з притупленням 1,0–2 мм. Латунь 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

### 16.2.3. Дугове зварювання латуні вольфрамовим електродом

Зварювання латуні вольфрамовим електродом виконується в середовищі аргону або гелію на постійному струмі прямої полярності. Режими зварювання такі самі, як і при аргоно-дуговому зварюванні міді. Хімічний склад присаджувального металу повинен відповідати складу основного. При товщині деталей понад 10 мм, а також при наявності різних за товщиною деталей, необхідний попередній підігрів.

### 16.2.4. Автоматичне й напівавтоматичне зварювання латуні під флюсом

Зварювання під флюсом виконують на постійному струмі прямої полярності. При цьому використовують флюси марок ОСЦ-45, АН-348А і АН-20. Електродний дріт беруть із латуні марок ЛК80-3, ЛК60-0,5, із бронзи марок Бр.ОЦ-4-3, Бр.КМц3-1 або із міді марок М1, М2, М3 діаметром 1–3 мм. Режими підбирають залежно від товщини зварюваних деталей. Зварювання стикового з'єднання металу завтовшки 6 мм на азбестовій або іншій підкладці виконують дротом діаметром 2 мм при силі зварювального струму 350–400 А, напрузі на дузі 30–33 В, швидкості подачі дроту 18 м/год.

## 16.3. ЗВАРЮВАННЯ БРОНЗИ

**Бронзи** — це сплави міді з алюмінієм, оловом, кремнієм та іншими елементами. Залежно від переважання легуючого елемента визначається й назва бронзи. Їх поділяють на олов'яні та безолов'яні, ливарні й деформівні. Застосування й способи зварювання бронз наведено в табл. 16.9.

Температура плавлення олов'яних бронз становить 900–950°C, безолов'яних — 950–1080°C. Олов'яні бронзи містять олова від 3 до 14%, а також фосфор, цинк, нікель та інші елементи. Олово в бронзі значно знижує температуру плавлення й збільшує інтервал між температурами початку та кінця кристалізації.

Хімічний склад і призначення олов'яних бронз регламентують стандарти ГОСТ 5017-74, ГОСТ 613-79; безолов'яних — ГОСТ 18175-78, ГОСТ 493-79.

У позначеннях марок бронз прийнята та ж система, що й для латуней, лише на початку марки пишуть Бр., що означає бронза. Наприклад, бронза Бр.ОЦС-4-4-4 містить 4% Sn, 4% Zn, 4% Pb, решта — Cu.

### Область застосування бронз і рекомендовані способи їх зварювання

Марка	Основні властивості	Застосування	Способи зварювання
<i>Олов'яні</i>			
Бр.ОЦ 10-2 Бр.ОЦ 8-4 Бр.ОЦС 6-6-3	Сплави з добрими ливарними властивостями	Фасонне лиття та арматури	Задовільна газова зварюваність
<i>Алюмінієві</i>			
Бр.АЖ 9-4 Бр.АМ10-3-7,5 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	Понижена зварюваність. Краще зварювання вугільним електродом. Газозварювання не дає стійких результатів і застосовується рідко
<i>Кремністі</i>			
Бр.КМц 3-1	Високі механічні, корозієстійкі, 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 присаджувальним металом, покритими електродами та вольфрамовим електродом в аргоні.

Деформівні бронзи (з вмістом олова до 7–8%, алюмінію до 5–7% та інших компонентів) товщиною до 4 мм зварюють усіма способами дугового зварювання без попереднього підігріву. Деформівні бронзи більшої товщини й ливарні бронзи (з великим вмістом легуючих елементів) зварюють з підігрівом до 250–300°C. Надто 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 нижньому або похилому положенні (до 15°).

### 16.3.1. Зварювання бронзи вугільним електродом

При зварюванні безолов'яних бронз вугільним електродом використовують литі 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 (кожного), решта — мідь. Флюси для зварювання олов'яних бронз виготовляють на борній основі — бура і борна кислота; для зварювання алюмінієвих бронз — на основі хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів, кріоліту, які видаляють оксид алюмінію.

Зварювання виконують постійним струмом прямої полярності. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 25–35 А на 1 мм діаметра електрода, напругу дуги — 40–45 В. У більшості випадків необхідний попередній підігрів до температури 300–400°C.

### 16.3.2. Зварювання бронзи покритими електродами

Зварювання бронзи виконують електродами з стрижнем, близьким за хімічним складом до основного металу. Для зварювання марганцевистої бронзи (Бр.Мц5 та ін.) використовують електроди «Комсомолец-100» обов'язково з попереднім підігрівом до температури 400–500°C. Для зварювання алюмінієвих і алюмонікелевих бронз застосовують електроди АНМц/ЛКЗ-АБ із попереднім підігрівом до температури 150–300°C. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності короткими ділянками; на змінному струмі — з осциляторами при підвищеному струмі.

Орієнтовні режими ручного дугового зварювання бронз покритими електродами наведено в табл. 16.10.

Таблиця 16.10

Орієнтовні режими ручного зварювання бронз штучними електродами

Тип бронзи	Марка стрижня електрода	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А
Олов'яний	Бр. ОФ 9-0,3	5–6	160–220
	Бр. ОФ 6,5-0,4	7–8	220–260
Алюмінієвий	Бр. АЖ 9-4	5–6	220–280
	Бр. АЖМц 10-3-1,5		

Примітка. Струм постійний, 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 кромки при товщині металу до 10 мм, а при більшій товщині — зі скосом кромки. Режим зварювання підбирають залежно від з'єднаних деталей і діаметра дроту.

Для наплавлення під флюсом використовують порошкові дроти ПП-Бр.ОЦС6-6-3 і ПП-Бр.ОС-2-1. Оболонка дроту виготовлена з мідної стрічки товщиною 0,5–0,8 мм та шириною 10–16 мм.

Механізоване наплавлення бронзи порошковими дротами виконується 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-Бр.АЖ9-4А та ПП-Бр.ОС10-10А. Зварювання бронзи в аргоні подібне до аргоно-дугового зварювання міді й латуні.

### 16.4. ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Алюміній та його сплави широко застосовуються в промисловості у вигляді листів, труб та іншого профільного матеріалу.

Алюміній (ГОСТ 11069-74) випускають таких марок: особливої чистоти — А995, А99, А97, А95, технічної чистоти — А85, А8, А7Е, А7, А6, А5Е. Цифри в позначеннях марок означають сотову частку вмісту алюмінію, а основну (99%) не вказують. Наприклад: алюміній А97 містить 99,97% Al, решта — домішки Fe, Si, Cu, Zn, Ti; їх загальний вміст не перевищує 0,03%.

Сплави алюмінію мають високі механічні властивості при малій густині, що досягається легуванням їх марганцем, 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 незміцнювані термічною обробкою (АМц1, АМг1) і зміцнювані 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 нарівні з аргонодуговим методом широко використовуються при зварюванні дефектів лиття й при ремонті. Зварюваність алюмінієвих сплавів залежно від їх фізико-хімічних властивостей вказана в табл. 16.11.

Таблиця 16.11

## Зварюваність алюмінієвих сплавів

Група	Марка	Характеристика зварюваності
<i>Деформівні 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
Термозміцнювані сплави АМц	АВ АК В95	—" —" —"
<i>Ливарні 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/см<sup>3</sup>). Оксидна плівка утруднює сплавлювання, сприяє непроварам, підвищує крихкість металу. Її видаляють механічним і хімічними способами перед зварюванням, захищають зону зварювання інертним газом, катодним розпилюванням, 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 домішок. Для цього зменшують вміст домішок у зварюваному металі, добавляють модифікатори (Zr, Ti, В) і регулюють режими 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 присаджувального дроту;

4. Високий коефіцієнт лінійного розширення сприяє появі значних зварювальних деформацій, що потребує використання спеціальних затискних пристосувань й усунення деформацій після зварювання;

5. Велика 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 заважає вчасно помітити момент початку плавлення. Для цього необхідний досвід і навички зварника.

Деталі з алюмінію та його сплавів з'єднують зварюванням плавленням і зварюванням 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 контактне зварювання; дугове зварювання вугільним або графітовим електродами; алюмінієвим покритим електродом; електрошлаковим 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 теплій проточній воді (40°C) і нейтралізують у 25–35%-ному водному розчині азотної або сірчаної кислоти (1–2 хв), знову промивають у проточній воді і сушать до повного видалення вологи (у сушильних шафах). Сплави з магнієм і кремнієм освітлюють у 25%-ному розчині ортофосфорної кислоти. Алюміній товщиною до 5 мм зварюють без скошу 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 заварювання шлакових 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. Багатопрхідне зварювання алюмінію товщиною понад 8 мм виконують при детальному очищенні й відмиванні шлаку з поверхні кожного проходу.

Для дугового зварювання алюмінію типу 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 підігрівом до 250–400°С. Електроди перед використанням обов'язково просушують при температурі 200°С протягом години. Розбрикування підвищене, формування валика й стійкість горіння дуги задовільні. Витрати електродів на 1 кг наплавленого металу становлять 2 кг, коефіцієнт наплавлення — 6,32 г/А·год, тимчасовий опір розриву — 63 Н/мм<sup>2</sup>, кут згину — 160°. Після зварювання шлак видаляють промиванням гарячою водою із застосуванням сталевих щіток. Обрив дуги при завершенні плавлення електрода необхідно виконувати поступово, щоб заплавити кратер.

Для зварювання й наплавлення деталей із сплавів алюмінію типу 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/мм<sup>2</sup>, 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	
	нижнє	вертикальне
4,0	100–200	100–120
5,0	130–150	120–140
6,0	160–180	

Примітка. Напруга на дузі — 30–36 В.

Одним із недоліків зварювання алюмінію покритими електродами є внутрішня пористість швів, але при зварюванні чистого алюмінію властивості зварного шва наближені до властивостей основного металу. При зварюванні термічно зміцнених сплавів алюмінію міцність з'єднань буде меншою міцності основного металу.

**16.4.2. Аргонодугове зварювання алюмінію вольфрамовим електродом**

Розвиток аргонодугового зварювання алюмінію та його сплавів пов'язаний із забезпеченням сприятливих умов для руйнування оксидних плівок і підвищення якості зварних з'єднань. Підвищити ефективність руйнування тугоплавкої оксидної плівки можна

шляхом збільшення силового впливу дуги на розплавлений метал, інтенсифікації перемішування його по всьому об'єму зварної ванни та активізації процесів катодного очищення.

Механічне дроблення оксидної плівки досягають при зварюванні з імпульсною подачею дроту. При цьому відбувається періодичне заглиблення дуги в розплавлений метал, що викликає хвильові переміщення рідкого металу й механічне дроблення оксидної плівки.

Глибину проникнення дуги в розплавлений метал можна збільшити за допомогою пульсації зварювального струму або накладання на дугу додаткових короткочасних імпульсів. Внаслідок різних значень тиску дуги в 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 кероване магнітне поле призводить до колового, поздовжнього або поперечного відхилення дуги, що сприяє інтенсивному перемішуванню рідкого металу, механічному дробленню оксидної плівки в кореневій частині ванни і винесенню її частин на поверхню, де вони руйнуються катодним розпилюванням.

На процеси утворення та руйнування оксидної плівки значно впливає форма імпульсів зварювального струму. Для цього застосовують струм прямокутної форми з незалежно регульованими тривалістю й амплітудами імпульсів при прямій та зворотній полярності. При переході від синусоподібної форми струму до трапецеоподібної і прямокутної тривалість зростання та спаду сили струму скорочується, завдяки чому збільшується час катодного очищення й створюються сприятливі умови для катодного руйнування оксидної плівки.

Прямокутна форма струму забезпечує різкі зміни силового впливу дуги з частотою, рівною зміні полярності струму. При зміні полярності струму проходить переміщення незруйнованих частинок оксидної плівки з нижньої у верхню частину зварної ванни під безпосередній вплив дуги.

Змінюючи параметри амплітудної й тимчасової асиметрії струму, одночасно впливають на глибину занурення дуги в розплавлений метал, інтенсивність його перемішування та ефективність катодного розпилювання.

Застосування асиметричного струму прямокутної форми сприяє виходу газів із зварної ванни та зменшенню пористості шва.

Для зварювання нових надлегких високоміцних алюмінієво-літєвих сплавів створені спеціальні технології, які дозволяють змінювати температурний баланс у зварній ванні за рахунок додаткового теплового впливу підігріванням присаджувального

**Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію  
неплавким електродом**

Тип з'єднання	Товщина деталі, мм	Діаметр, мм		Захисний газ				Кількість проходів
		вольфрамового електрода	присаджувального дроту	аргон		гелій		
				сила зварювального струму, А	витрата газу, л/хв	сила зварювального струму, А	витрата газу, л/хв	
З відбортовкою кромки	1,0	1,0	—	45–50	4–5	35–45	12–15	1
	1,5	1,5–2,0	—	70–75	5–6	50–60	18–20	1
	2,0	1,5–2,0	—	80–85	7–8	65–75	20–22	1
	2,0	1,5–2,0	1,0–2,0	55–75	5–6	50–60	18–20	1
	3,0	3,0–4,0	2,0–3,0	100–120	7–8	100–160	24–30	1
Стикове, без розчищення кромки, одностороннє	4,0	3,0–4,0	2,0–3,0	120–150	8–10	90–120	26–31	1
	4,0	3,0–4,0	3,0–4,0	120–180	7–8	100–160	20–26	2
	5,0	4,0–5,0	3,0–4,0	200–280	8–10	160–200	22–28	2
Стикове, без розчищення кромки, двостороннє	6,0	4,0–5,0	3,0–4,0	240–270	8–10	200–240	22–28	2
	6,0	4,0–5,0	3,0–4,0	220–280	7–8	180–240	20–26	3
Стикове, з розчищенням кромки	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
	2–4	2,0–4,0	1,5–4,0	100–200	5–7	80–160	16–18	1–2
Таврове, кутове, внапуск	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  
в аргоні плавкими електродом**

При зварюванні алюмінію плавким електродом використовується постійний струм зворотної полярності. На прямій полярності горіння дуги нестабільне і ефект катодного розпилення не використовується. Суть катодного розпилення полягає в тому, що при зварюванні на зворотній полярності проходить дроблення оксидної плівки  $Al_2O_3$  з наступним розпиленням частинок оксиду на поверхні виробу. Оксидна плівка, яка покриває зварну ванну, руйнується під ударами важких позитивних іонів захисного газу аргону, що утворюються при горінні дуги. Утворений потік іонів здатний дробити оксидні плівки алюмінію й магнію. Інші гази, які мають меншу атомну масу, не здатні дробити та розпиляти оксиди. Механічний спосіб видалення оксидної плівки полягає в тому, що зварник занурює у зварну ванну сталевий пруток діаметром 3–4 мм і виймає 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.

дроту або почергового подавання в зону зварювання аргону й гелію.

Плазмодугове зварювання з використанням асиметричного змінного струму прямокутної форми широко використовується в літакобудуванні, космічній техніці. Наскрізне проникнення плазмової дуги сприяє ефективному руйнуванню оксидної плівки на торцях кромки по всій товщині зварюваного металу, забезпечуючи більш високу якість швів, ніж при звичайному аргонодуговому зварюванні.

Аргонодугове зварювання алюмінію неплавким електродом виконують на змінному струмі з використанням осцилятора. При живленні дуги змінним струмом за рахунок катодного розпилення в напівперіоди, коли катодом є виріб, руйнується оксидна плівка.

У якості присаджувального металу використовують дріт такого ж хімічного складу як і основний метал. Зварювання виконують у всіх просторових положеннях без коливальних рухів електрода. Дугу запалюють на допоміжній графітовій пластині, а потім переносять електрод на зварювані кромки.

Для захисту дуги й електрода застосовують аргон першого та другого сорту. Довжина дуги не повинна перевищувати 1,5–2,5 мм, а тиск аргону встановлюється в межах 0,01–0,05 МПа. Подача аргону проводиться за 3–5 с до збудження дуги, а вимикання — через 5–7 с після обриву дуги (забезпечується електромагнітним клапаном).

При напівавтоматичному і автоматичному зварюванні неплавким електродом пальник розташовують вертикально, а присаджувальний метал подається у плавильну зону так, щоб кінець дроту впирався на край зварної ванни. Орієнтовні режими дугового зварювання алюмінію вольфрамовим електродом вказані в табл. 16.13.

Ручне та автоматичне зварювання трифазною дугою вольфрамовими електродом дозволяє проплавити без розчищення кромки за один прохід метал товщиною до 30 мм. При цьому зменшується пористість шва. Глибину провару регулюють зварювальним струмом і розташуванням електродів відносно осі шва. Послідовне розташування електродів відносно осі шва призводить до збільшення глибини провару і зменшення ширини шва, а поперечно — до зменшення провару і збільшення ширини шва. При використанні присаджувального металу для зменшення забруднення металу шва використовують дріт більшого діаметра: 3–6 мм при ручному зварюванні і 2–4 мм при автоматичному зварюванні. Джерелом живлення трифазної дуги є два стандартних однофазних трансформатора, з'єднаних трикутником, або спеціальний трансформатор.

Таблиця 16.14

**Орієнтовні режими напівавтоматичного аргондугового зварювання алюмінію плавким електродом**

Тип з'єднання	Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год (1·10 <sup>-3</sup> м/с)	Витрата аргону, л/хв	Кількість проходів
Стикове, без розчищення кромки	4–6	1,5–2,0	140–240	19–22	20–30 (5,6–8,4)	6–10	2
	8–10	1,5–2,0	220–300	22–25	15–25 (4,2–6,9)	8–10	2
	12	2,0	280–300	23–25	15–18 (4,2–5,0)	10–12	2
Стикове, з V-подібним розчищенням кромки, на підкладці	5–8	1,5–2,0	220–280	21–24	20–25 (5,6–6,9)	8–10	2–3
	10–12	2,0	260–280	21–25	15–20 (4,2–5,6)	8–10	3–4
Стикове, з X-подібним розчищенням кромки	10–16	2,0	280–360	24–28	20–25 (5,6–6,9)	10–12	2–4
	20–25	2,0	330–360	26–28	18–20 (5,0–5,6)	12–15	4–8
	30–60	2,0	330–360	26–28	18–20 (5,0–5,6)	12–15	10–40
Таврове, кутове, внапуск	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 виконується замиканням зварювального дроту на виріб. Робочий тиск аргону такий же, як і при зварюванні неплавким електродом. Відстань між наконечником пальника і виробом установлюють у межах 5–15 мм.

**16.4.4. Автоматичне зварювання алюмінію плавким електродом напіввідкритою дугою**

Зварювання виконується напіввідкритою дугою при певному дозуванні флюсу, який регулюється спеціальним дозатором, який переміщується перед зварювальною дугою. Зварюють на постійному струмі зворотної полярності при вильоті електрода 50–60 мм з використанням флюсів АН-А1 та ін. Однобічне зварювання виконується по зазору від 1,0 до 2,0 мм на флюсовій подушці або на підкладках. Зварюють без підігріву і розчищення кромки при товщині алюмінію до 20–25 мм.

**16.4.5. Зварювання алюмінію вугільним електродом**

Ручне зварювання вугільним електродом виконують у нижньому положенні постійним струмом прямої полярності. В якості присаджувального дроту використовують електродний дріт таких марок: з технічного алюмінію (Св-А97, Св-А85Т, Св-А5), алюмінієво-мар-

ганцевий (Св-АМц), алюмінієво-магнієвий (Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-АМг6, Св-АМг61, Св-АМг63, Св-1557), алюмінієво-кремнієвий (Св-АК5, Св-АК10), алюмінієво-мідний (Св-1201). Стандарт поширений на тягнутий і пресований дріт діаметром від 0,8 до 12,5 мм. Дріт постачають в упаковці; термін зберігання не більше 1 року з дня виготовлення. Зварювальний дріт підбирають із урахуванням однорідності з основним металом або з підвищеним 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 відбортовкою кромки без присаджувального дроту. Зварювання товстих деталей потребує розчищення кромки під кутом 60–75° із застосуванням присаджувального дроту. Для видалення оксидної плівки використовують спеціальні флюси АФ-4а та ін., які наносяться помазком на кромки деталей безпосередньо перед зварюванням. 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 пальника з примусовим охолодженням вольфрамового електрода. При мікроплазмовому зварюванні можна зварювати алюміній та його сплави товщиною 0,2–0,15 мм при силі зварювального струму 10–100 А із використанням електродів (з добавкою лантану) діаметром 0,8–1,5 мм. Плазмове зварювання потребує точного складання деталей і ведення пальника строго по зварюваному стику.

## 16.5. ЗВАРЮВАННЯ ТИТАНУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Головна перевага титану та його сплавів порівняно з іншими конструкційними матеріалами в тому, що при малій густині ( $4,5 \text{ г/см}^3$ ) вони мають границю міцності від 450 до 1500 МПа і велику корозійостійкість у багатьох середовищах.

Фізичні властивості й висока температура плавлення титану ( $1660^\circ\text{C}$ ) 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  $450^\circ\text{C}$ , на його поверхні утворюється шар окалини, який складається з оксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ). 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  $800^\circ\text{C}$  утворюється нітрид титану, температура плавлення якого досягає  $2950^\circ\text{C}$ . 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 ( $\text{TiH}_2$ ). При нагріванні проходить розпад гідриду титану та відновлюється ударна в'язкість. Гідриди, 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 відпалу.

Вуглець сприяє зниженню пластичності титану та його сплавів. Низька розчинність вуглецю в титані (декілька десятків відсотка) призводить до виділення карбідів і підвищення міцності й зниження пластичності.

У результаті активності титану до поглинання кисню, азоту та водню при зварюванні необхідний особливо надійний захист від цих газів. Такий захист здійснюється при дуговому зварюванні в інертних газах (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 аргонодуговим, 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 деформацій вироби складають на сталевих або мідних підкладах, через середню частину яких при зварюванні продувають інертний газ. При цьому забезпечують щільне прилягання кромок до підкладок по всій довжині.

Складати рекомендують у пристосуваннях, а за їх відсутності застосовують прихватки. Деталі з технічного титану прихватують без присадки, а леговані титанові сплави прихватують тільки із використанням присаджувального металу. Довжина прихваток становить 30–50 мм, крок — 300 мм. Їх виконують із зворотного боку шва для уникнення перегріву. На початку і в кінці стику прихватують технологічні пластини, призначені для запалювання дуги і виводу кратера. Зазор — не більше 0,3–0,5 мм, а притуплення кромок — не більше 10% товщини металу.

Зварювальний дріт, прутки й пластини повинні мати чисту, не насичену воднем і не забруднену маслом поверхню. У випадку забруднення присаджувальний метал чистять піскоструминною обробкою, протравлюють або застосовують механічну обробку. Для зручності зварювання дріт рубають на стрижні довжиною 300–400 мм. Дріт діаметром від 1,2 до 7,0 мм постачають після вакуумного відпалу при температурі  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  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 кромок із застосуванням присаджувального металу за декілька проходів. Підготовка кромок вказана в табл. 16.16.

Таблиця 16.16

**Підготовка кромок при аргонодуговому зварюванні титану неплавким електродом**

Стикове з'єднання	Товщина металу, мм	Зазор, мм	Притуплення, мм	Кут розчищення, град
Без скосу кромок	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 коливальних рухів із наступним охолодженням до температури 100°C і зачищенням металу після кожного проходу.

Ознакою задовільної якості зварювання титану та його сплавів є відсутність кольорів мінливості на поверхні шва. Темні кольори мінливості аж до синього свідчать про недостатній захист металу при зварюванні.

Для зварювання титану товщиною 3 мм в якості присаджувального металу використовують технічний титан марки ВТ1. При більшій товщині і для зварювання титанових сплавів, які мають границю міцності більше 900 МПа, використовують присаджувальний метал, за хімічним складом наближений до основного металу або легований алюмінієм (марки ВТ5) та іншими елементами.

Зварні з'єднання, виконані ручним аргонодуговим зварюванням, 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.

Режими ручного аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом титанових сплавів наведено в табл. 16.17.

Таблиця 16.17

**Орієнтовні режими аргонодугового зварювання стикових з'єднань титанових сплавів**

Товщина металу, мм	Діаметр вольфрамового електрода, мм	Діаметр присаджувального дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Витрата аргону (л/хв) для захисту	
					дуги	зворотного шва
<i>Без розчищення кромок</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 кромок під кутом 60°</i>						
4,0	2,0	2,5–3,0	120–130	14–16	12–12	3–4

Широко використовується автоматичне зварювання титану неплавким електродом (табл. 16.18).

Таблиця 16.18

**Режими автоматичного аргонодугового зварювання неплавким електродом титану та його сплавів**

Товщина металу, мм	Діаметр вольфрамового електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Довжина дуги, мм	Швидкість зварювання, м/год	Витрата аргону, л/хв	
						в зоні зварювання	із зворотного боку
1,0	1,5–2,0	60–80	8–10	1,5–2,0	25–30	14–15	3–4
1,5	1,5–2,0	80–100	10–12	1,5–2,0	25–30	14–15	3–4
2,0–2,5	2,0–2,5	120–200	12–14	2,0–2,5	20–25	18–19	4–5
2,5–3,0	2,5–3,0	200–220	12–14	2,0–2,5	20–25	24–25	4–5
4,0	2,5–3,0	220–260	12–14	2,0–2,5	15–20	27–28	4–5
10,0	2,5–3,0	220–260	12–14	2,0–2,5	15–25	27–28	4–5

Примітка. Діаметр присаджувального дроту становить 1,5–2 мм.

Використовується зварювання титану неплавким електродом із застосуванням флюсів-паст (АН-ТА, АН-Т17А, АН-Т23А та ін.).

**16.5.3. Дугове зварювання титану в інертному газі плавким електродом**

Для зварювання в якості захисних газів використовують суміш гелію з аргоном або чистий гелій. Зміна співвідношення цих газів дає можливість регулювати глибину й ширину провару. Найчастіше використовують суміш, яка містить 80% гелію і 20% аргону.

Зварювання рекомендують виконувати дротом діаметром 1,2–2,0 мм на постійному струмі прямої полярності. Стикові з'єднання товщиною 3–6 мм виконують із зазором або з V-подібним розчищенням кромки під кутом 60°. При більшій товщині роблять V- або X-подібні скоси кромки.

Режими зварювання титану в інертних газах плавким електро-дом 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 <sup>-3</sup> м/с)	Виліт електродного дроту, мм	Витрата захисного газу, л/хв
3–8	1,6	350–450	28–36 22–28	25–40 (7–11,2)	20–25	30–40 20–30
10–12	1,6–2	440–520	38–40 30–34	20–35 (5,6–0,8)	20–28	70–90 35–45
15	3	600–650	42–48 30–32	25–30 (7–8,4)	25–30	70–100 35–50
16–36	5	780–1200	46–52 34–38	15–25 (4,2–7)	40–55	100–120 50–60

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 електродного дроту, мм	Витрата газу, л/хв
4–8	150–250	0,6–0,8	22–24	10–14	20–30
8–12	340–520	1,6–2,0	30–34	20–25	36–45
14–34	480–750	3,0	32–34	30–35	38–50
16–36	630–920	4,0	32–36	35–40	50–60
16–36	780–1200	5,0	34–38	40–45	50–60

Примітка. 1. Режими наведено для стикових, таврових і з'єднань внапуск. 2. Струм зварювання постійний 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 безкисневі 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 кипіння 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 багатошарового 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 зварюваного металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год (1·10 <sup>-3</sup> м/с)	Тривалість, с	
				імпульс	паузи
<i>Однобічне 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>Двобічне зварювання</i>					
1,5	85–135	6,8	12–24 (3,4–6,8)	12–0,22	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/м<sup>3</sup>) із температурою плавлення 1453°С. Йому властива висока стійкість проти корозії на повітрі, висока пластичність, міцність і жароміцність. Завдяки цим властивостям нікель широко використовується в металургії, хімічній, харчовій, авіаційній та інших галузях.

Деталі з технічно чистого нікелю (Н-О, Н-1у, Н-1, Н-2, Н-3, Н-4) і його сплавів зварюють із міддю, хромом (ніхром), молібденом, 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 виникають пори). Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності, лівим способом, короткою дугою. Пальник нахилиють під кутом 20–30° до осі шва. Виліт вольфрамового електрода становить 12–15 мм. Для зварювання використовують присаджувальний дріт такого ж хімічного складу, як і основний метал, або нікель, легований розкиснювачами (кремнієм, марганцем, титаном) марок: Н-1; НП-1; НП-2; НМц 2,5; НМц АТЗ-1,5-0,6; НМц ТК1,5-2,5-0,15; Х20Н80 (ніхром) та ін. Зварюють із максимальною можливою швидкістю і з мінімальними коливальними рухами кінця електрода на мідній підкладці або із захистом кореня шва аргонем. При багатшаровому 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/хв
			вольфрамового електрода	присаджувального 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 виготовляють із нікелю НП-1, а товсте покриття складається з плавикового шпату, мармуру, феротитану, ферованадію, алюмінію, марганцю та інших елементів. Зварювальний струм підбирають із розрахунку 30–45А на 1 мм діаметра електрода. Зварювання виконують короткою дугою в один 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 кромки	—	1–2
4–6 6–12	З V-подібним розчищенням під кутом 60–70°	0,5–1 1,5–2	1,5–2 1,5–3
8–12 12–20	З X-подібним двобічним розчищенням під кутом 60–70°	1,5–2,5 2–3	1,5–3 2–4

Можливе ручне зварювання нікелю електродами із стрижнем 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 кріплення деталей. Довгі шви зварюють окремими ділянками, розриви між якими заварюють 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 міднонікелеві сплави зварюють електродами із дроту НМЖМц 28-2,5-1,5 з фтористокальцієвим покриттям.

## 16.7. ЗВАРЮВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

**Магнієві сплави** мають малу густину (1,74 г/см<sup>3</sup>), але високу міцність. У 1,5 рази легші за алюміній і в 4,5 рази легші за сталь. Ці властивості й визначають широке використання магнієвих сплавів.

Через невисокі механічні характеристики чистий магній для виготовлення деталей у машинобудуванні не використовують. При одержанні сплавів у ролі основних легуючих елементів використовуються 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 зовсім не іскрять. Корозієстійкість магнієвих сплавів невисока, тому вироби з них необхідно захищати утворенням захисних плівок із наступним покриттям лаками, фарбами, епоксидними плівками.

При зварюванні магнієвих сплавів за оптимального вибору режиму зварювання й присаджувального матеріалу відношення міцності зварного з'єднання до міцності основного металу становить 0,6–0,90. Технологічна зварюваність деформівних магнієвих сплавів наведена в табл. 16.25.

Таблиця 16.25

**Технологічна зварюваність деформівних магнієвих сплавів**

Група сплавів	Марка сплаву	Зварюваність
<i>Нетермоміцніювані:</i> низької міцності середньої міцності	МА 1 МА2, МА2-1, МА8, МА9	Добра Задовільна
<i>Термоміцніювані:</i> високої міцності жароміцні	МА5, МА14 МА11, МА13, ВМД1	Погана Задовільна

**Труднощі зварювання:**

- низька теплопровідність;
- близькість температур плавлення й спалаху (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 кромки зварюють за один прохід із підкладками, що мають канавки. Двобічне зварювання без розчищення кромки не рекомендується через небезпеку появи у шві оксидних включень.

При зварюванні металу товщиною понад 6–10 мм використовують V-подібне, а при товщині понад 20 мм — X-подібне розчищення кромки.

Зварювання вольфрамовим електродом в аргоні виконують на змінному струмі короткою дугою (1–2 мм) тому, що при цьому краще видаляється оксидна плівка і забезпечується ефективніший захист зварної ванни від навколишнього середовища. Режими ручного зварювання в аргоні сплавів МА1 і МА8 наведені в таблиці 11.26.

Таблиця 16.26

## Режими ручного зварювання магнієвих сплавів

Товщина металу, мм	1,0–1,2	1,5–2,0	5,0–6,0
Зварювальний струм, А	85–100	105–140	220–260
Діаметр електрода, мм	2	2–3	4
Витрати аргону, л/хв	6–8	8–12	20–30

Для металу товщиною понад 5 мм використовують автоматичне зварювання плавким електродом із струминним перенесенням металу. Тонкий метал зварюють короткою дугою з періодичними миттєвими короткими замиканнями. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності.

При стиковому зварюванні без розчищення кромки за один прохід плавким електродом можна зварювати деталі товщиною 5–10 мм із силою струму 140–150 і 290–310 А відповідно і швидкості зварювання 25–28 м/год.

Зварювання вугільними електродами магнієвих сплавів виконують на постійному струмі прямої полярності із застосуванням флюсів із хлористих і фтористих солей (ВФ-156, МФ-1, ПО та ін.), 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 виготовляють 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 корозієстійкість використовують у хімічній промисловості для облицювання сталевих апаратури, трубопроводів, посуду, які працюють у середовищі сірчаної, фосфорної та інших кислот, а також для покриття кабелів.

**Труднощі зварювання:**

- низька температура плавлення (327°C);
- висока рідкотекучість;
- низька теплопровідність;
- утворення тугоплавкого оксиду свинцю (PbO) з температурою плавлення 850°C.

Вироби із свинцю мають високу корозієстійкість 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 металевих блиску, а потім продовжують зварювання. Для видалення оксидної плівки застосовують флюс із стеарину або суміш стеарину з каніфоллю 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 полегшується.

Вертикальні, горизонтальні й стельові шви з'єднують з відбортовкою кромок і внапуск. У нижньому положенні застосовують стикові з'єднання. Режими аргонодугового зварювання свинцю вольфрамовим електродом наведено в табл. 16.29.

Таблиця 16.29

**Режими аргонодугового зварювання тонколистового свинцю вольфрамовим електродом**

Положення шва	Діаметр електрода, 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

Свинець також зварюють вольфрамовим електродом імпульсною дугою, яка забезпечує максимальне проплавлення металу на струмі 15–40 А і напрузі дуги 4–18 В у всіх просторових положеннях.

**16.9. ЗВАРЮВАННЯ ЦИНКУ, СРІБЛА ТА ІНШИХ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

**Цинк** використовують для виготовлення джерел струму, захисного покриття. Сплави цинку бувають ливарні (ЦА4, ЦАМ4-1) і антифрикційні (ЦАМ9-1,5; ЦАМ10-5). З них виготовляють корпусні деталі, прилади, високоточні вироби, арматуру.

Температура плавлення цинку становить 419°С.

Для зварювання цинку застосовують газове та аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом. Режими зварювання цинку вольфрамовим електродом наведено в табл. 16.30.

Таблиця 16.30

**Режими аргонодугового зварювання цинку вольфрамовим електродом**

Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Швидкість зварювання, м/год
4	110–120	25
6	140–150	20
8	160–170	15

Примітка. Витрати аргону становлять 8–10 л/хв.

Із срібла виготовляють ювелірні вироби, електровакуумні прилади, припої, покриття, акумулятори, електротехнічні вироби та ін. Температура плавлення срібла становить 960,5°С, густина – 10,5 г/см<sup>3</sup>.

Срібло зварюють вольфрамовим електродом на постійному струмі прямої полярності в середовищі аргону й газовим зварюванням із застосуванням флюсів на основі бури. Режими 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°С. Високий коефіцієнт теплового розширення сприяє виникненню значних напруг і деформацій виробу. Велика розчинність кисню у рідкому сріблі призводить до утворення оксиду срібла та евтектики Ag<sub>2</sub>O-Ag; в результаті метал стає крихким. При зварюванні срібло інтенсивно випаровується.

Зварювання сплавів на основі срібла, які містять алюміній, мідь, кремній і кадмій, пов'язане з додатковими труднощами – схильністю до внутрішнього окиснення. При окисненні легуючих добавок знижується пластичність. Через велику рідкотекучість срібла зварювання виконують у нижньому або похилому положеннях.

Аргонодугове зварювання срібла неплавким 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 уперед без поперечних коливань. Кут нахилу пальника 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 (кореня) 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 пропалів і протікання.

Механічні властивості з'єднань із срібла, виконаних електродуговим зварюванням, вищі за механічні властивості з'єднань, виконаних газовим зварюванням.

Сплави ванадію, ніобію й танталу зварюють неплавким електродом у середовищі аргону (табл. 16.32).

Таблиця 16.32

**Режими механізованого зварювання тонколистових сплавів ванадію, ніобію й танталу неплавким електродом у середовищі аргону**

Сплав	Товщина металу, мм	Зварювальний струм, А	Напруга, В	Швидкість зварювання, см/с
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, молибдену й вольфраму неплавким електродом у середовищі гелію та аргону встановлюють режими, вказані в табл. 16.33.

Таблиця 16.33

**Режими механізованого зварювання тонколистових деталей із сплавів хрому, молибдену і вольфраму неплавким електродом у середовищі гелію та аргону**

Сплав	Товщина металу, мм	Швидкість зварювання, см/с	Зварювання в 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 гелію		Зварювання в аргоні	
			зварювальний струм, А	напруга, В	зварювальний струм, А	напруга, В
Хрому	2	0,3	135	18	150	10
		0,6	200	17,5	220	10
		1,1	240	17,5	265	12
		2,2	290	18	315	12
Молибдену	1	0,3	120	17,5	135	10
		0,6	140	18	160	12
		1,1	180	18	230	12
		2,2	240	17,5	330	10
	2	0,3	225	18	240	10
		0,6	270	18	300	10
		0,8	320	17,5	350	12
Вольфраму	1	0,3	170	18,5	—	—
		0,6	190	20	230	12
		1,1	320	20	—	—
		2,2	340	21	—	—
	2	0,3	280	17	—	—
		0,8	320	19	360	12
		2	470	20	—	—

Найкращі результати при зварюванні в захисних інертних газах кольорових металів і сплавів дає використання джерел живлення дуги імпульсним струмом. При звичайному зварюванні в захисних газах короткою дугою для зменшення зварної ванни струм знижують до мінімального, що може призвести до виникнення непроварів. Імпульсне зварювання допускає значно більше тепловкладення порівняно із зварюванням з короткими замиканнями, що виключає непровар металу. При імпульсному зварюванні крапля з кінця присаджувального дроту відривається під час проходження імпульсу і відновлюється після нього. Цей процес послідовно повторюється і виникає струминне перенесення металу з постійною частотою та стабільними розмірами дрібних крапель. Це забезпечує якісне зварювання у всіх просторових положеннях.

Перевагою імпульсного зварювання вольфрамовим електродом є підвищена стабільність горіння дуги, однакова якість металу шва по всій його довжині, відсутність розбризкування металу.

1. Охарактеризуйте труднощі зварювання міді.
2. Які є способи зварювання міді?
3. Назвіть основну трудність зварювання латуні.
4. Які особливості зварювання бронзи?
5. Поясніть труднощі зварювання алюмінію.
6. Які є способи зварювання алюмінію?
7. Назвіть труднощі зварювання титану та його сплавів.
8. Як виконують дугове зварювання нікелю і його сплавів?
9. Назвіть особливості зварювання магнієвих сплавів.
10. Охарактеризуйте технології зварювання свинцю, цинку, срібла та інших кольорових металів і сплавів.
11. Які присаджувальні матеріали використовують для зварювання міді вугільним електродом?
12. Які покриті електроди застосовують при зварюванні міді?
13. Назвіть основні способи зварювання міді в захисних газах.
14. Назвіть режими автоматичного зварювання міді під флюсом.
15. Вкажіть способи зварювання латуні.
16. Які особливості зварювання латуні вугільним електродом?
17. Як зварюють латунь під флюсом?
18. Назвіть способи дугового зварювання бронзи.
19. Охарактеризуйте підготовку кромок до зварювання алюмінію.
20. Назвіть марки електродів для зварювання алюмінію.
21. Охарактеризуйте особливості аргоннодугового зварювання алюмінію.
22. Назвіть особливості використання прямокутної форми струму при зварюванні алюмінію.
23. 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 ( $1875^{\circ}\text{C}$ ). Тугоплавкі метали активно взаємодіють з більшістю газів. При взаємодії з киснем спостерігається зниження пластичності, особливо молібдену й вольфраму. У зв'язку з окисненням і випаровуванням оксидів тугоплавких металів для роботи при підвищених температурах їх поверхню необхідно захищати.

При взаємодії тугоплавких металів (крім ренію) з воднем спостерігається підвищення крихкості. Азот також негативно впливає на пластичність тугоплавких металів. Разом з тим нітриди тугоплавких металів сприяють їх зміцненню.

При зварюванні в місцях дефектів, які знаходяться на поверхні кромок, утворюються замкнені порожнини, заповнені газами, парами води і продуктами їх 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.

Високі температури плавлення й теплопровідність більшості тугоплавких металів сприяють підвищенню швидкості кристалізації та утворенню крупнозернистої структури. При цьому підвищується крихкість і виникають тріщини. Для запобігання виникненню тріщин використовують присаджувальні матеріали, які забезпечують високу пластичність металу шва, регулюють напрям тепловідводу при кристалізації, використовують заходи щодо обмеження залишкових напружень у металі шва.

Для з'єднання тугоплавких металів використовують дугове зварювання в середовищі інертних газів, електронно-променеве і лазерне 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 присаджувального 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 й механічні властивості зварних з'єднань тугоплавких металів мають умови тепловідводу та режими зварювання. Оптимальні значення параметрів режимів зварювання для різних сплавів тугоплавких металів визначаються хімічним складом сплаву, геометричними розмірами, умовами тепловідводу й способами зварювання (табл. 11.32, 11.33).

Для підвищення механічних властивостей тугоплавких металів використовують 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 з газами і шлаками.

Процес утворення з'єднань поділяють на три стадії:

- зближення поверхонь на відстань, яка забезпечує утворення фізичного контакту;
- утворення міцних хімічних зв'язків між атомами з'єднуваних металів;
- розіток дифузійних процесів у зоні зварного шва.

Умовою утворення необмеженої взаємної розчинності металів є неперевищення різниці їх атомних діаметрів більше ніж на 15%. У більшості випадків взаємодія між різними елементами характеризується низькою взаємною розчинністю та утворенням складних інтерметалевих з'єднань. Додатковою трудностю зварювання різнорідних металів є їх висока хімічна активність у нагрітому й розплавленому стані з киснем, азотом, воднем, вуглецем, які утворюють хімічні сполуки, що знижують механічні властивості зварних з'єднань. Існує декілька способів зварювання різнорідних металів.

### 17.2.1. Зварювання з розплавленням з'єднуваних поверхонь

Метали зварюють між собою з розплавленням з'єднуваних поверхонь, а концентрація елементів повинна бути суворо регламентована. Задану концентрацію в металі шва одержують зміщенням джерела 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 сталями 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 крихкі 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 мідну вставку з боку сталі і ніобію з боку титану із наступним зварюванням міді з ніобієм. Для з'єднання алюмінієвих сплавів із корозієстійкими сталями застосовують біметалеві вставки, які одержують зварюванням вибухом.

### 17.2.5. Зварювання різнохідних сплавів покритими електродами

Порівняно проста технологія зварювання різнохідних 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, корозієстійких сталей з нікелем та інших різнохідних 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 сталями використовують електроди марки АНЦ-ОЗМ-2, «Комсомолец-100». Мідь попередньо підігривають до температури 150–350°C і вище залежно від її товщини.

Електродами марки ВИ-ИМ-1 зварюють різнохідні сталі й сплави. При цьому одержують метал шва типу Х19М14Н6ЗГ2В.

### 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 гази використовують при електродуговому зварюванні тугоплавких металів?
6. На які групи поділяють різнохідні метали?
7. Охарактеризуйте особливості зварюваності різнохідних металів.
8. Назвіть способи зварювання різнохідних металів.
9. За якої умови виникає взаємна розчинність металів при зварюванні різнохідних металів?
10. Назвіть стадії процесу утворення з'єднань різнохідних 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 ємкостей.

Пластмаси є сумішами, 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 термореактивні (реактопласти).

Термопласти при нагріванні розм'якшуються (плавляться), тобто переходять у в'язкотекучий стан. При багаторазовому нагріванні у них виникають значні хімічні зміни.

При нагріванні реактопластів у них проходять реакції утворення тримірних структур, що виключає їх повторне розм'якшення. Важливою характеристикою полімеру є залежність деформації від температури — термомеханічна крива. Вона дозволяє оцінити, при яких температурах полімер знаходиться в склоподібному, високоеластичному й в'язкотекучому (розплавленому) стані. В ряду полімерів макромолекули утворюють не тільки ближні, а й дальні порядки. Такі полімери одержали назву кристалічних. Тому в основі зварювання розрізняють зварювання способами плавлення і хімічне.

### 18.2. ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ (ДИФУЗІЙНЕ)

Принцип зварювання заснований на властивостях полімерних матеріалів при нагріванні вище від визначених температур або в стані набухання (при введенні розчинника) переходити 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 <sup>2</sup>	Границя міцності, МПа, при			Відносне видовження, δз	Границі 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 видалення прошарків, які перешкоджають взаємодії макромолекул, необхідно, крім нагріву або введення розчинника, прикладати зусилля.

При цьому в зоні контакту протікають реологічні процеси (перемішування розплаву, орієнтація), які визначають якість зварного з'єднання.

Основні параметри режиму зварювання — температура й час нагрівання зварних деталей, тиск при зварюванні та час його дії.

При зварюванні під дією нагріву й прикладених зусиль осідання, 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 стика.

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 реакційноздатні групи реактопластів (основи фенолформальдегідних, аміноформальдегідних смол, які залишаються на поверхневих шарах деталей). Присадку у вигляді резольної смоли додають при зварюванні пластмас на основі епоксидних полімерів. Нагрівання здійснюється за допомогою струму високої частоти або ультразвуку.

Хімічне зварювання ефективно при з'єднанні орієнтованих термопластичних плівок і волокон, зварні шви яких повинні зберігати вихідні фізико-механічні властивості вихідного матеріалу, які втрачаються при плавленні. В якості присадок використовують багато-основні кислоти та їх хлорангідриди. Хімічне зварювання-зшивання 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 напусткове з'єднання.

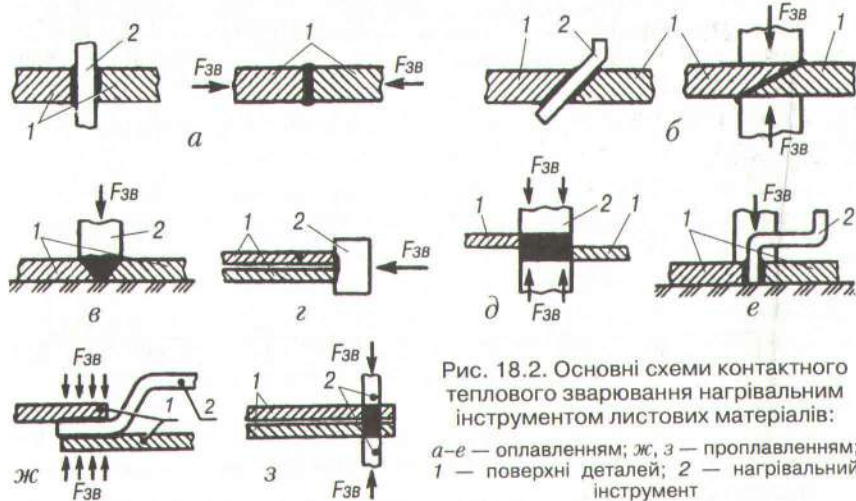
При цьому використовують різні схеми нагріву зварних деталей. Нагрівачі можуть бути у вигляді пластин, стрічок, дисків, профільних планок, ниток, голок.



Рис. 18.1. Схема контактної теплової 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 перед металевими: невелика щільність, висока корозійна стійкість, відносно низьке значення гідравлічного опору, знижені енергетичні витрати при експлуатації трубопроводів; підвищення продуктивності праці при виготовленні й особливо при монтажі. Разом з тим вони мають певні недоліки: невисокі показники міцності, що знижуються при підвищених температурах; низька морозостійкість поліетилену, полістиролу та полівінілхлориду; схильність до старіння. Але незважаючи на вказані недоліки, пластмаси успішно витісняють металеві трубопроводи, які працюють під тиском до 1 МПа і температурі до 50–100°C.

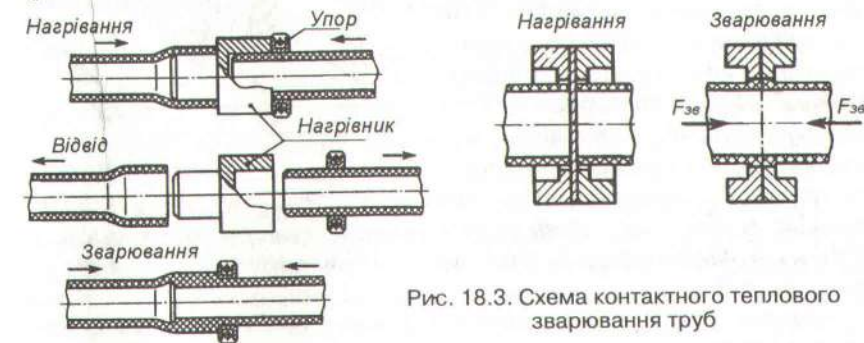
Труби й деталі із термопластів мають розміри по зовнішньому діаметру 10–360 мм, причому зовнішній діаметр не змінюється з товщиною стінок. Залежно від робочого тиску труби із поліетилену випускають чотирьох типів: легкий (на тиск до 0,25 МПа), середньолегкий (до 0,4), середній (до 0,6) і важкий (до 1 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;

- опалвлення кромки нагрівачем. Температура і час опалвлення залежить від матеріалу, геометричних параметрів труб;
- видалення нагрівача та осадки;
- витримування після осадки 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 опалвляється внутрішня поверхня роструба і зовнішня поверхня кінця труби. Після опалвлення на задану глибину, кінець труби швидко всувається в роструб. Зварювання вроструб виконується на таких же умовах, що й стикове. Але в цьому випадку нагрівач складається з двох елементів: гільзи для опалвлення кінця труби і дорна для опалвлення внутрішньої поверхні роструба. Дорн і роструб можуть мати циліндричну або конічну поверхню. Різниця між діаметром гільзи й дорна циліндричного інструмента повинна становити 0,5–1 мм.

Орієнтовні режими контактної зварювання труб наведено в табл. 18.2.

Таблиця 18.2

#### Основні технологічні параметри зварювання вроструб поліетилену

Показник	Поліетилен низької щільності з циліндричними поверхнями	Поліетилен високої щільності з конусними поверхнями
Температура зварювання, °С	300 ± 20	250–270
Час опалвлення, 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 опалвленого матеріалу становить 5–15 с.

**Зварювання газовим теплоносієм** з присадковим матеріалом (рис. 18.4) застосовується для виготовлення динамічного обладнання, трубопроводів та ємкостей із вініласту 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 непровару. В якості газу-теплоносія використовується повітря. Можна також використовувати азот, вуглекислий газ або аргон. Основні параметри режиму — температура газу на виході із сопла, його витрати, а також пов'язані з цим швидкість зварювання і тиск на присадковий пруток.

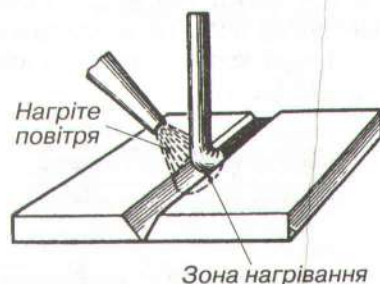


Рис 18.4. Схема ручного зварювання газовим теплоносієм із присадковим матеріалом

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 плівок — 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 плівки з поліаміду, поліетилену низької щільності і поліетилентерефталота (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  $20-25^\circ$ .

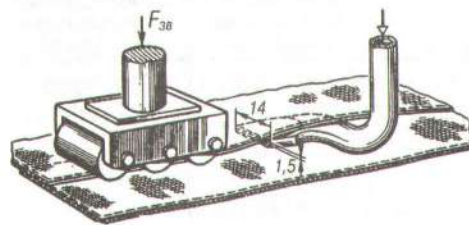


Рис. 18.5. Схема механізованого неперервного зварювання плівки газовим теплоносієм

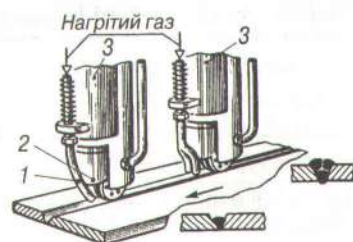


Рис. 18.6. Загальний вигляд механізованого зварювального вузла і зварювальної головки:

1 — сопло; 2 — присадковий матеріал; 3 — зварювальна головка

Часом конструкція виробу дозволяє зварювати пластмаси без присадкового матеріалу шляхом розм'якшення і стискування кромки деталей, напусткового з'єднання (рис. 18.7).

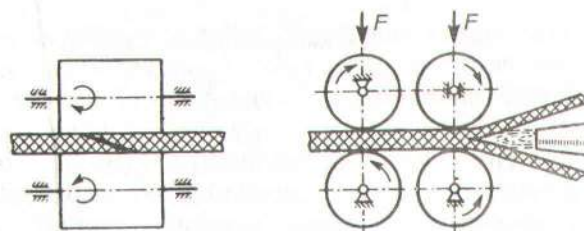


Рис. 18.7. Зварювання нагрітим газом без присадкового матеріалу: F — сила стиску

Газовий струмінь при температурі  $250-300^\circ\text{C}$  нагріває зрізані кромки. Швидкість зварювання становить 30–50 м/год; міцність зварних швів — 80–90% міцності основного матеріалу.

**Зварювання екструдованою присадкою** виконується за такими схемами: розплавлений присадковий матеріал безперервно надходить у зону з'єднання із сопла екструдера, який знаходиться на деякій відстані від зварних кромки; як різновид цього способу нагріте сопло може торкатися кромки, додатково нагріваючи їх. Це й є контактено-екструзійне зварювання (рис. 18.8).

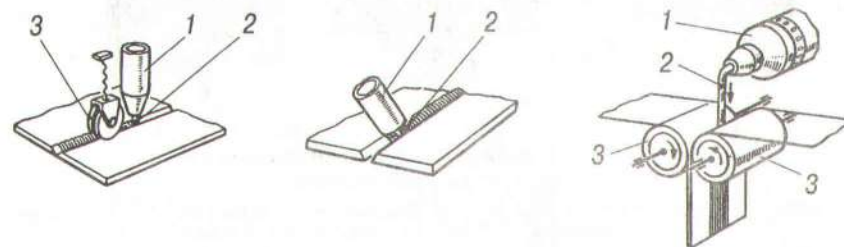


Рис. 18.8. Схема зварювання термопластів екструдованою присадкою: 1 — екструдер; 2 — розплавлений матеріал; 3 — рамки

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 струменю розплаву — 3–4 мм; температура присадкового матеріалу —  $220-280^\circ\text{C}$ . Міцність з'єднання підвищується при обтисканні шва рамками.

Зварювання екструдованою присадкою проходить при заповненні розробки розплавленим матеріалом 2, який безперервно подається з екструдера 1. Матеріал нагріває з'єднувальні поверхні та, сплавляючись з ними, утворює зварний шов. Надійні з'єднання утворюються при обтисканні 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 засноване 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 розрізуванням матеріалу (рис. 18.9 б) на нижньому електроді встановлюється ізолююча прокладка 4. Цим способом добре зварюються тільки полярні пластики (полівінілхлорид, поліаміди, полівінілацетат, поліакрилі, 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 пробую зварного пакету напруга на конденсаторі не повинна перевищувати 60–70% пробивної напруги матеріалу.

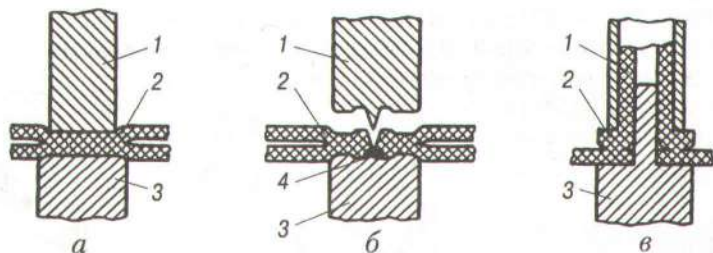


Рис. 18.9. Електроди для одержання зварних швів струмами високої частоти:

а — плоского; б — фігурного з розрізуванням матеріалу; в — кільцевого; 1, 3 — електроди; 2 — зварювальний матеріал; 4 — ізолююча прокладка

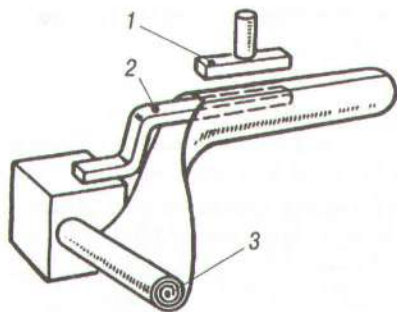


Рис 18.10. Схема зварювання струмами високої частоти рукавів і шлангів із плівки поздовжнім швом: 1, 2 — електроди; 3 — рулон

Частота струму визначається характеристикою генератора й фізичними властивостями матеріалу.

Час зварювання залежить від довжини шва і товщини матеріалу.

Рукава і шланги можна зварювати неперервним напруговим 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 стиків труб застосовують кільцеві електроди (рис. 18.11).

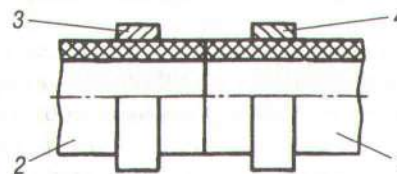


Рис. 18.11. Схема зварювання поперечного стика труб струмами високої частоти: 1, 2 — стики труб; 3, 4 — електроди

**Ультразвукове зварювання пластмас** проводиться шляхом нагрівання при введенні механічних коливань ультразвукової частоти (20–50 кГц). Зварювання може здійснюватися ковзаючим інструментом і нерухомим інструментом у ближньому полі — контактне (рис. 18.12 а) або в дальньому полі — дистанційне, або передавальне (рис. 18.12 б).

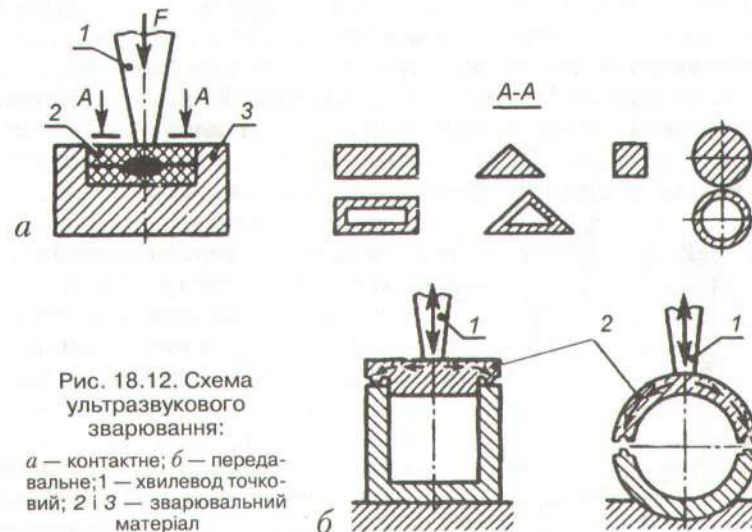


Рис. 18.12. Схема ультразвукового зварювання:

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 металами.

**Тертям зварюють** такі ж з'єднання, як при зварюванні металів. Фігурні фаски на торцях труб (рис. 18.13) запобігають зміщенню кромок, які знижують працездатність зварних стиків.

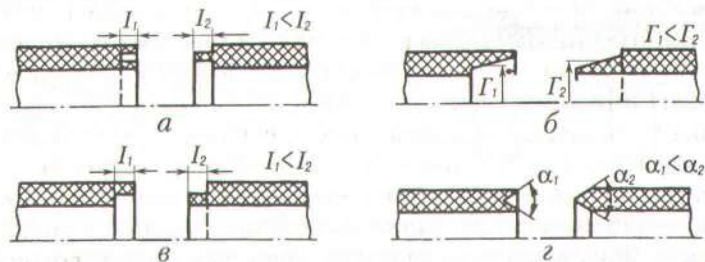


Рис. 18.13. Конструкції розробки кромок труб під зварювання тертям:  
а-г — фігурні фаски на кінцях труб

Зварювання вібротертям шляхом відносних переміщень деталей з частотою до 100 Гц і амплітудою до декількох міліметрів дозволяє зварювати деталі різної форми.

**Зварювання променем лазера** ефективно при з'єднанні полімерних плівок (рис. 18.14). Промінь лазера 2, який вийшов з оптичного квантового генератора 1, відбивається від відхиляючого дзеркала 3, фокусується лінзою 4 і здійснює зварювання плівки 7, яка переміщується транспортуючим роликком 6 і притискним роликком 5.

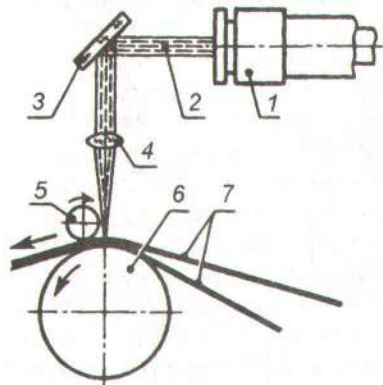


Рис. 18.14. Схема зварювання плівки променем лазера:

1 — генератор; 2 — лазер; 3 — дзеркало; 4 — лінза; 5 — притискний ролик; 6 — транспортуючий ролик; 7 — плівка

У якості поглинача лазерного проміння при зварюванні пластмас використовували сажу, якою забруднювали зварне з'єднання. В лазерному проникаючому зварюванні використовують безколірне

поглинаюче середовище, що ліквідує будь-яке забруднення. Інфрачервоне поглинаюче середовище дозволяє зробити зварний шов прозорих пластмас практично невидимим.

Лазерне зварювання пластмас потребує значних першочергових затрат. Але такі переваги лазерного зварювання, як можливість керування потужністю лазерного променя в процесі зварювання, точність наведення лазерного променя, висока якість зварного з'єднання та екологічна безпека швидко відшкодовують ці затрати.

Високошвидкісне проникаюче лазерне зварювання особливо ефективно при зварюванні термопластичних плівок унапусток, наприклад, у пакувальній промисловості. Вивчається 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 замість сталевих труб поліетиленові. Зарубіжний досвід показує, що виробництво й застосування поліетиленових труб вимагає значно менших енергетичних витрат, вони технологічніші при будівництві, не потребують антикорозійного покриття й захисту, в 3–4 рази довговічніші в експлуатації, дозволяють у 2–3 рази скоротити термін будівництва і в 8–10 разів зменшити транспортні витрати. При цьому одержують значну економію коштів, оскільки при застосуванні таких труб не потрібні нафтобітуми, крафтпапір, скловолокно та електроди. Через це в західних країнах розвідні газопроводи в 85–90% випадків будують із поліетиленових труб. За кордоном поліетиленові труби застосовуються також при реконструкції сталевих газопроводів, які 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 безпечність 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 ТЕУУВ.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 відрізках, 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. 18.3).

Таблиця 18.3

**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 устик

**Контрольні запитання та завдання**

1. На які групи поділяються пластмаси?
2. У чому суть зварювання плавленням пластмас?
3. Які основні параметри режиму зварювання пластмас?
4. У чому суть хімічного зварювання пластмас?
5. Де використовується контактне зварювання пластмас нагрітим інструментом?
6. Охарактеризуйте контактне теплове зварювання пластмасових труб.
7. Назвіть особливості зварювання пластмас газовим теплоносієм.
8. Охарактеризуйте особливості зварювання пластмас 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. Виберіть спосіб зварювання для термореактивних пластмас.
14. Виберіть час оплавлення і температуру зварювання для поліетилену високої щільності.

**ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ**

**19.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАПЛАВЛЕННЯ**

Наплавленням називається процес нанесення шару розплавленого металу або сплаву на поверхню виробу. Наплавлення використовують для відновлення спрацьованих деталей та отримання виробів із заданими властивостями поверхні: стійкістю проти спрацювання, жароміцністю, жаро- й кислотостійкістю, антифрикційністю та ін. Використання наплавлення знижує витрати дорогих і дефіцитних легованих сталей, спеціальних сплавів, підвищує надійність і терміни роботи машин (механізмів).

Використовується ручне дугове наплавлення плавкими й неплавкими 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 наплавленні приймає участь невелика кількість основного металу, яка проплавлюється на малу глибину. Тому внутрішні напруги та деформації й схильність виробу до утворення тріщин незначні. Задані властивості наплавленого шару одержують введенням до його складу легуючих елементів. Легування виконують за рахунок взаємодії металу та шлаку, поглинанням елементів із навколишнього газового середовища, введенням у зварну ванну металевих добавок. Найважливішим при наплавленні є одержання однорідного хімічного складу наплавленого металу та заданих властивостей виробу.

Механізоване наплавлення відрізняється від ручного безперервністю процесу завдяки використанню електродного дроту або стрічки і спеціальних пристроїв для подачі електродного матеріалу та механізмів для пересування джерела теплоти або наплавлюваного виробу.

**19.2. НАПЛАВЛЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

За способом виробництва матеріали для наплавлення поділяють на покриті електроди, наплавлювальні суцільні 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 наплавлювальний дріт діаметром від 0,3 до 8 мм. Стандартом передбачений вуглецевий дріт 9 марок (Нп-25, Нп-85 та ін.), легований дріт 11 марок (Нп-40Г, Нп-30ХГСА та ін.), високолегований дріт 10 марок (Нп-20Х14, Нп-30Х10Г10Т, Нп-Х20Н80Т та ін.).

ГОСТ 10051-75 передбачає 44 типи покритих електродів для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями, які забезпечують твердість наплавленого шару від 28 до 66 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 автотракторні деталі, вали, осі	Ø 4; 170–200 Ø 5; 210–240 Постійний струм зворотна полярність
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	Швидкоспрацьовувані 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 (щок дробилок, лопатки та колеса землевсмоктувачів)	Ø 4; 200–220 Ø 5; 250–270 Змінний і постійний струм
T-620	58–59	Швидкоспрацьовувані деталі із сталі й чавуну, що працюють в умовах сильного стирання та ударних навантажень (щок дробилок, зуби ковшів екскаваторів)	Ø 4; 200–220 Ø 5; 250–270 Постійний струм
ОЗН-1	54–55 (після наплавлення) 50–60 (після термообробки)	Ріжучий інструмент і штампи	Ø 3; 80–110 Ø 4; 120–150 Ø 5; 160–200

Примітка. Наплавлення 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 використовують струми меншої величини ніж для зварювання. При цьому глибина проплавлення металу виробу знижується, а наплавлюваний метал менше перемішується 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 В2К, В3К	Сплав вольфраму та хрому, зв'язаних кобальтом і залізом	46–48 42–43	Деталі, що працюють при високих температурах	
	Сормаїт 2, Сормаїт С27 (взамін сормаїту 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	Реліт ТЗ	Т р у б к а (Ø6×0,5 мм) з низьковуглецевої сталі, заповнена дрібняком карбідів вольфраму	85	Буровий інструмент і деталі, що працюють в умовах сильного абразивного спрацювання	При наплавленні розплавляється сталева оболонка, а дрібняк вварюється в наплавлений шар з карбиду вольфраму (85%) і заліза (15%)
Метало-керамічні тверді сплави у вигляді пластин	ВК ТК ТТК «победит»	К а р б і д и вольфраму, титану, танталу, зв'язані кобальтом і залізом	86–91	Для металоріжучого інструмента	Пластини паяють до основи за допомогою мідноцинкових припоїв, 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 HRC, другого — 61–63 HRC.

**Вісхон** складається з 5% ферохрому, 15 феромарганцю, 74 чавунної 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 HRA.

**Карбідно-боридна порошкова суміш КБХ** (5% хрому, 5 бориду хрому, 60 ферохрому, 30% залізного порошку).

**Сталініт М** складається з порошоків вуглецевого ферохрому, феромарганцю, нафтового коксу з чавунною стружкою. Використовують для наплавлення ковшів екскаваторів, ножів бульдозерів тощо. Твердість наплавленого шару становить 52HRC. Співвідношення значень твердості, визначеної різними методами, наведені в додатку 7.

Для автоматичного та напівавтоматичного наплавлення використовують ті самі флюси, що й для зварювання. Хромонікелеві сталі наплавляють під флюсом марки АН-26, високохромисті чавуни — АН-28. Електрошлакове наплавлення виконують із флюсами АН-8, АН-25. Наплавлення коліс мостових кранів, опорних котків і роликів гусеничних тракторів виконують з керамічним флюсом АНК-18. Робочі поверхні бульдозерів, грейдерів наплавляють із флюсом АНК-19.

### 19.3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛАМИ РІЗНИХ ТИПІВ

#### 19.3.1. Наплавлення нелегованих і низьколегованих сталей

Нелеговані й низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,4% використовують для відновлення розмірів деталей або нанесення проміжного шару. Якщо наплавлення виконують сталями з підвищеним вмістом вуглецю (сталі 35, 40, 40Х, 40ХН) і сірки (35ЛК, 30Л та ін.), то можлива поява тріщин. Щоб уникнути їх необхідно зменшувати частку основного металу в наплавленому. Для цього зменшують крок наплавлення, збільшують виліт електрода, нахиляють електрод кутом уперед, виконують наплавлення на спуск, застосовують наплавлювальні стрічки, багатоелектродне наплавлення і попередній підігрів.

Для наплавлення масивних деталей використовують підігрів до 200–250°C, а при напавленні невеликих деталей достатньо теплоти дуги (автопідігрів).

Нелеговані та низьколеговані сталі з вмістом вуглецю понад 0,4% призначені для наплавлення колінчастих валів, ножів, штампів тощо. Трудністю наплавлення є схильність наплавленого металу до утворення гарячих й холодних тріщин. Для цього виконують попередній підігрів до температури 350–400°C або наплавлення проміжного шару з низьковуглецевої сталі дротом Св-08, Св-08 ГС та ін. Після наплавлення забезпечують повільне охолодження.

Якщо наплавлена деталь підлягає механічній обробці, то її відпалюють. При цьому твердість знижується до 20–25 HRC. Після механічної обробки виконують гартування; твердість наплавленого металу збільшується до 50–60 HRC.

#### 19.3.2. Наплавлення теплостійких інструментальних сталей

Теплостійкі інструментальні сталі (хромовольфрамові, хромо-молібденові) наплавляють на деталі, що піддаються впливу великих тисків і змін температури. Для запобігання утворенню тріщин, зниження залишкових напруг 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 швидкорізальних сталей

Швидкорізальні сталі використовують для наплавлення різального інструменту. Труднощі наплавлення пов'язані із схильністю наплавленого металу до утворення тріщин. Щоб уникнути тріщин застосовують попередній та супровідний підігрів до 500–600°C і повільне охолодження після наплавлення в печі.

До наплавленого металу не ставлять вимоги щодо пластичності і не піддають куванню. Для підвищення стійкості проти спрацювання і червоноламкості метал додатково легують.

#### 19.3.4. Наплавлення корозієстійких сталей

Корозієстійкі хромисті сталі з вмістом вуглецю до 0,2% використовують для наплавлення арматури, роликів машин, плунжерів гідропресів і штампів деяких видів. При вмісті вуглецю понад 0,2%

наплавлений метал схильний до утворення тріщин. Тому при наплавленні виконують попередній, а для масивних деталей — су-провідний підігрів до температури вище 350°C.

У сталях 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 сильними ударами. Найпоширенішою є сталь Гадфільда 110Г13Л. При охолодженні з високою швидкістю від температур 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 Нп-Г13А (наплавлення під флюсом) і самозахисний порошковий дріт ПП-Нп-90Г13Н4. 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 корозієстійкості. 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 міжкристалітною корозією в наплавленому металі обмежують вміст вуглецю на рівні 0,02–0,03% або легують його титаном, ніобієм, зв'язуючи вуглець у міцні карбіди 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-10Х16Н25АМ6 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. Недопустимим є розташування тріщин вздовж 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, леговані 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 загартовані сталі, то рекомендують попередній підігрів, температура якого визначається складом основного металу. Після наплавлення використовують повільне охолодження. За кордоном такі сплави відомі під назвою хастеллой та інконель.

Нікелеві сплави леговані 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, корозієстійкість, стійкість проти спрацювання при терті металів без мащення, здатність зберігати твердість при високих температурах. Наплавлений метал схильний до утворення гарячих і холодних тріщин, тому наплавлення виконують із попереднім 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 наплавленні, при якому основний метал в напавленому становить 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 напавлювального металу.

### 19.3.10. Аргонодугове наплавлення прутками із сплаву сормайт

Присаджувальні прутки із сплаву сормайт мають такі умовні позначення: Пр-С1 (тип ПрН-У39Х28Н4С3), Пр-С27 (тип ПрН-У45Х28Н2СВМ) ГОСТ21449-75. Вони призначені для ацетилено-кисневого або дугового напавлення неплавким електродом деталей, які працюють в умовах абразивного спрацювання.

Перед напавленням поверхню деталі детально очищають від окалини та забруднень. 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 конічному 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. Доцільно наносити вузькі валики або валики шириною 2–3 діаметра присаджувального прутка. Надто велика амплітуда коливачь 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 сталевих стрічки, заповненої релітом (реліт АН-Л3).

### 19.3.11. Напавлення срібла

Через низьку міцність і з метою економії срібло часто використовують в якості плакованого корозієстійкого шару. Срібло, напавлене безпосередньо на сталь, погано з нею зчеплюється. На лінії сплавлювання спостерігається велика кількість пор, можливе виникнення тріщин у сталевому шарі. Тому рекомендують проміжне напавлення нікелем, міддю або сплавами на їх основі. Проковування напавленого шару в гарячому стані дозволяє ущільнити й підвищити пластичність, знизити напруги.

При аргонодуговому напавленні срібла на сталь використовують флюс такого складу: 30–35% тетрафторборату 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 напавлюванні покритими електродами;
- 1,5–8 у вуглекислому газі;
- 2–15 при автоматичному напавлюванні під флюсом;
- 5–30 при автоматичному напавлюванні 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 дротяними електродами;
- до 150 при електрошлаковому напавленні електродом великого перерізу.

Техніка напавлення дротом передбачає накладання ниткових валиків із перекриттям попереднього валика на 1/3 його ширини або валиків із поперечними коливаннями електрода. Напавлення можна виконувати нитковими валиками на деякій відстані один від

одного, а після видалення шлаку наплавити валики у вільних проміжках. Плоскі поверхні наплавляють широкими валиками з використанням коливальних рухів електроду.

Наплавлення тіл обертання виконують вздовж осі або коловими рухами (валиками) 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 порошків використовують вугільний електрод. Поверхню виробу очищують 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. Напавлення 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 викришувань, не повинна перевищувати 5–6 мм для сталініту, 3–4 для вокару, 1,4–1,7 мм для боридної суміші. Порошкоподібні сплави можна напавляти й металевими електродами, але твердість напавлення знизиться.

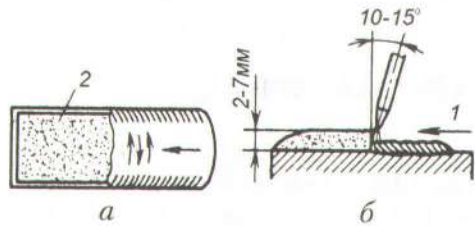


Рис. 19.1. Положення вугільного електрода при напавленні порошкоподібних твердих сплавів:  
а — переміщення електрода; б — вид з боку; 1 — (стрілка) загальний напрямок напавлення; 2 — шар шихти (порошку)

Для ручного напавлення використовують трубчасті електроди з порошкового дроту. Для зменшення деформацій і напруг після напавлення застосовують проковування. Напавлення повинне забезпечувати якісне формування напавленого шару, щоб зменшити припуски на механічну обробку.

## 19.5. ВИДИ НАПАВЛЕННЯ

Напавлення виконують ручними та механізованими способами. З механізованих способів найчастіше використовують напавлення під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, відкритою дугою, вібродугою та електроімпульсне, струмами високої частоти, електрошлакове й спеціальні способи напавлення кольорових і композиційних сплавів.

**Ручне дугове напавлення** використовують при відновленні спрацьованих поверхонь, браку лиття, для напавлення поверхонь із спеціальними властивостями. Ручне дугове напавлення виконують покритими плавкими та неплавкими електродами. При напавленні плавким електродом поверхню детально зачищають і виконують напавлення окремими валиками. Кожний наступний валик повинен розплавляти попередній на 1/3–1/2 його ширини. Підбирають електроди, враховуючи умови експлуатації виробу.

Порошкові суміші напавляють вугільним (графітовим) електродом на постійному струмі прямої полярності. Дугу збуджують на основному металі, потім переносять на шихту, яка розплавляється з мінімальним пропавленням основного металу.

**Напавлення плавким і неплавким електродом у середовищі захисних газів** дозволяє механізувати процес у будь-якому просторовому положенні напавлюваної площини. В якості захисних газів використовують аргон, гелій, вуглекислий газ та ін.

Аргон використовують для напавлення жароміцних, нержавіючих та інших сталей і кольорових металів. Вуглекислий газ використовують для напавлення вуглецевих і деяких легованих сталей. Автоматичне напавлення в середовищі  $\text{CO}_2$  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 присаджувального дроту спеціального складу.

Напавлення плавким електродом в інертних газах призводить до підвищеного вмісту основного металу в напавленому. Тому часто використовують додатковий присаджувальний дріт. Такий спосіб застосовують при напавленні високолегованих хромонікелевих сталей і сплавів.

**Автоматичне напавлення під флюсом** виконують сталевим зварювальним дротом, порошковим дротом, стрічковим електродом, порошковою стрічкою, під плавними або керамічними флюсами. Напавлення можна виконувати одним електродом окремими валиками, одночасно декількома електродами й електродною стрічкою. Використовують стрічки суцільного перерізу та порошкові.

За допомогою напавлення під флюсом можна нанести шар металу будь-якого хімічного складу товщиною від 2 мм. Процес напавлення під флюсом відрізняється універсальністю і широкими можливостями підвищення продуктивності праці. Режими автоматичного напавлення під флюсом вказані в табл. 19.3.

Таблиця 19.3

## 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 стрижні 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 швидкоспрацьовуваних деталей машин і механізмів. Вібрація електрода, зумовлюючи багаторазові короткі замикання зварювального кола, покращує стабільність процесу за рахунок частих 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 розпилювання його на поверхні виробу газовим струменем. Використовують газополумєневе і газоелектричне напилення, де в якості напилювального матеріалу застосовують дроти, стрижні й порошки. Недоліком газополумєневого напилення є низька якість покриття, зумовлена низькою температурою полум'я, низькою швидкістю перенесення частинок і великим вмістом 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

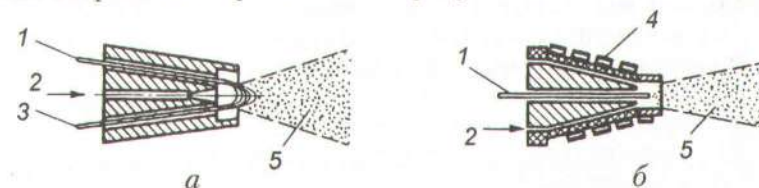


Рис. 19.2. Схема електрометалізаційного напилення:

а — електродугового; б — високочастотного; 1, 3 — напилювальний дріт; 2 — стиснене повітря; 4 — індуктор; 5 — металізаційний факел

металізаторів в 1,5–2,5 рази вища продуктивності електрометалізаційних. Недоліком цього способу є низький к.к.д. установок і відносно низька міцність зчеплення напилювального металу з основним.

Високопродуктивним способом нанесення покриття є плазмове напилення, яке використовують для нанесення різних металів і сплавів із метою захисту деталей від спрацювання, корозії, ерозії, теплових ударів тощо. Напилені покриття мають міцне зчеплення з основним металом, високу щільність і гладку поверхню. В якості плазмоутворюючих газів використовують аргон, азот, гелій і суміші аргону з воднем та іншими газами. Напилювальні матеріали виготовляють у вигляді порошку або дроту. Використовують гранульовані порошки розмірами 5–100 мкм, які для підвищення сипучості просушують при температурі 70–200°C протягом 2 год. Критерієм задовільного зчеплення є якісна підготовка поверхні основного металу травленням, піскоструминною, термічною й механічною обробкою. Напилення виконують за один прохід плазмотрона із швидкістю, яка забезпечує одержання товщини 15–100 мкм. Схема плазмового напилення зображена на рис. 19.3.

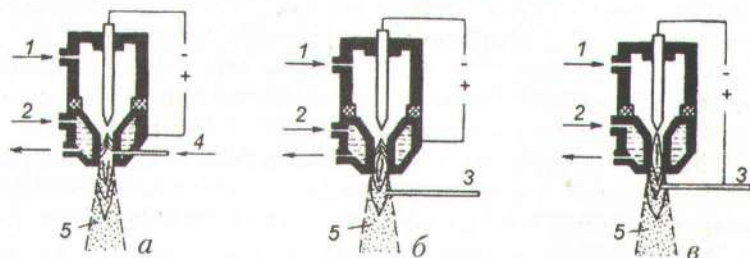


Рис. 19.3. Схема плазмового напилення:

*a* — подача напилюваного матеріалу в плазмовий струмінь через сопло; *б* — подача напилюваного матеріалу за сопловою ділянкою 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 наплавленням?
2. Для чого використовують наплавлення?
3. Охарактеризуйте особливості наплавлення.
4. Якими матеріалами виконують наплавлення?
5. Охарактеризуйте покриття електроди для наплавлення.
6. Які особливості техніки наплавлення?
7. Що називають продуктивністю наплавлення?
8. Які є види наплавлення?
9. Яким чином виконують наплавлення струмами високої частоти?
10. У чому суть вібродугового наплавлення?

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 20.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У всіх галузях народного господарства широко застосовуються конструкції різного роду й призначення. Вони відрізняються розмірами, конфігурацією, принципами дії, способом виготовлення. Конструкції виготовляються за допомогою різних технологічних процесів. Тому вони можуть бути литими, кованими, точеними, клеєними, штампованими, зварними, а також комбінованими — клеєзварними, штампозварними тощо.

До зварних відносять конструкції, нероз'ємні з'єднання яких виконуються за допомогою зварювання. Отже, зварними конструкціями є сітка радіолампи, кабіна автомобіля, корпус балістичної ракети, кожух доменної печі, літак АН «Руслан».

Конструкції можна класифікувати за цільовим призначенням (будівельні, суднові, авіаційні), за матеріалами (сталеві, алюмінієві, пластмасові), за характером навантажень та умовами експлуатації.

**Зварні конструкції класифікуються за наступними категоріями (групами):**

*балки* — конструктивні елементи, що працюють на поперечний згин, з'єднані між собою жорстко та утворюють рамні конструкції;

*колони* — елементи конструкції, які працюють на стиск або стиск з поздовжнім згином;

*решітчасті конструкції* — система стержнів, яка працює на розтяг або стиск, і жорстко з'єднаних між собою у вузлах. До них відносяться: ферми, зв'язуючі, опори транспортерів, щогли лінійних електропередач, сітки арматури залізобетону та ін.;

*оболонкові конструкції* — різноманітні ємкості, резервуари, апарати й трубопроводи, до яких ставляться вимоги міцності та щільності;

*корпусні транспортні конструкції* — корпуси суден, вагонів, кузови автомобілів;

*деталі машин і приладів*, які працюють переважно при перемінних багаточислових навантаженнях (станіни, 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 довиготовлення 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; суцільностінові 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 огорожуючих конструкцій. Останні не несуть основних навантажень, а тільки «огорожують» (захищають) внутрішні приміщення будівель. До них відносяться панелі, вітражі, віконні перемички, ворота тощо.

До суцільностінових листових конструкцій відносяться: різні ємкісні зварні конструкції, основними з яких є резервуари всіх типів (вертикальні зварні РВЗ, ізотермічні, 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.

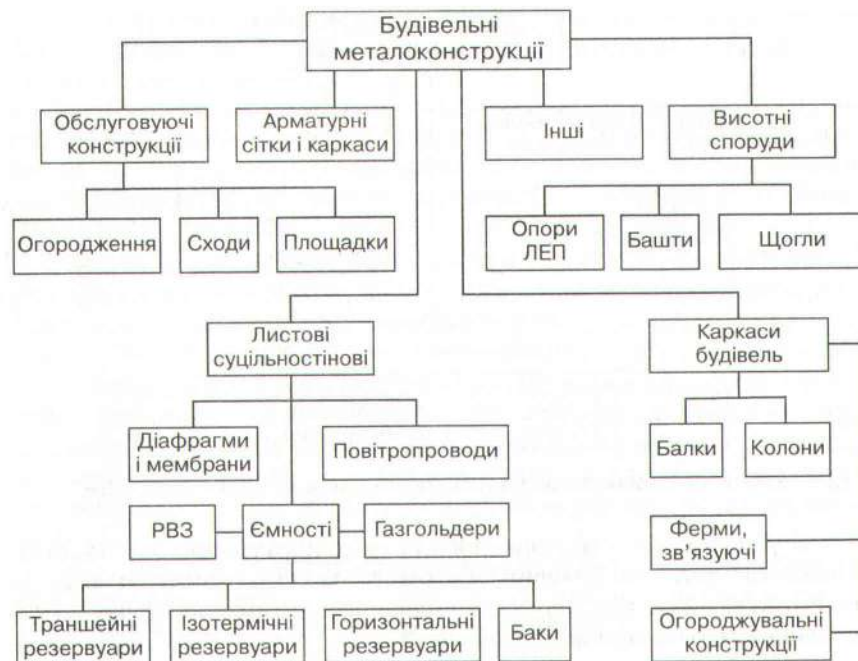


Рис. 20.2. Класифікація будівельних металевих конструкцій

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 ємкісні конструкції, серед яких можна виділити декілька підгруп: посудини й апарати (котли, ємності та обладнання спеціального призначення). Посудини (в основному, пустотілі) й апарати (з внутрішніми пристроями) працюють під тиском. Вони, як і котли, підвідомчі Держпроматомнагляду. Ємності мають різну місткість (від часток до сотень кубометрів) і призначення (декомпозиери, 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 машинобудівельних зварних конструкцій

**Трубопроводи** — це пристрої для транспортування рідких, газоподібних і сипучих речовин при різних тисках і температурах. За невеликим винятком, трубопроводи є зварними конструкціями й класифікуються відповідно до рис. 20.4.



Рис. 20.4. Класифікація трубопроводів

Магістральні трубопроводи транспортують рідини та гази від місця їх видобутку до місця переробки або споживання. Відмінною особливістю магістральних трубопроводів є їх велика протяжність, яка вимірюється сотнями й тисячами кілометрів, і постійний діаметр, який досягає 1420 мм і більше.

Промислові трубопроводи призначені для забору нафти та газу від свердловин (включаючи герметизацію нафтових свердловин) і доставку нафти до нафтозбірних пунктів, а газів до компресорних станцій. Вони мають діаметр 100–377 мм і невелику протяжність.

До технологічних трубопроводів відносяться трубопроводи промислових підприємств, якими транспортують сировину, напівфабрикати та готову продукцію, а також матеріали, які забезпечують ведення технологічного процесу й відходи виробництва.

Енергетичні трубопроводи, або трубопроводи енергетичних блоків, забезпечують роботи теплових та атомних електростанцій і групових котельних установок.

Санітарно-технічні трубопроводи призначені для створення комфорту в житлових будинках, об'єктах побутово-культурного призначення й промислових підприємств (водопроводи, газопроводи, трубопроводи гарячої води та каналізації). Для цих трубопроводів характерні малі діаметри труб і велика кількість різьбових з'єднань.

Розширюється застосування пластмас в якості конструкційних матеріалів, які замінюють метали там, де це можливо й доцільно. Пластмаси використовуються в будівельних конструкціях при виготовленні повітропроводів і вентиляційних камер, які працюють в агресивних середовищах, а також застосовуються в якості наповнювачів при виготовленні захисних багатшарових панелей типу «Сендвіч». У машинобудівній промисловості пластмаси в основному застосовуються при виготовленні ємностей для зберігання агресивних рідин, а також нестандартного обладнання для тих же умов експлуатації.

У якості конструктивного матеріалу пластмаси перспективні для санітарно-технічних і технологічних трубопроводів для тиску 1–1,6 Мпа і температури середовища до 60–80°C.

## 20.2. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Понад 98% сталевих конструкцій виконуються зварюванням. При проектуванні для забезпечення високої працездатності зварних конструкцій необхідно враховувати ряд вимог. На несучу здатність зварної конструкції значно впливають використані зварювальні матеріали. При чому вони впливають не тільки на експлуатаційні властивості конструкції, але й визначають її вартісне виготовлення. Тому при виборі матеріалу враховують характер навантаження (статичні, динамічні, повторно-перемінні), температурні умови, сейсмічність, агресивність середовища тощо.

Для конструкцій, які працюють в умовах динамічних навантажень або при низьких температурах, велике значення має форма зварного з'єднання. Наявність концентраторів напружень у зварних з'єднаннях у процесі експлуатації конструкції може призвести до зниження або втрати пластичних властивостей та руйнування конструкції. Температурна дія на зварні кромки 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 проектується в дві стадії – технічний проект і робочі креслення.

У процесі експертизи проектів вирішуються наступні завдання: зниження металомісткості конструкцій за рахунок зменшення їх маси, застосування ефективніших марок сталі й профілів прокату, 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-виготівників з метою організації групового запуску деталей у виробництво (з різних замовлень групуються деталі за ознаками технологічної подібності);

- перенесення найтрудомісткісних операцій із збирання і зварювання в умови заводу-виготівника, постачання конструкцій крупними блоками з урахуванням розмірів і вантажопідйомності транспортних засобів;

- можливість збирання та зварювання найтрудомісткісних операцій з проектною відмітки вниз, на площадку для укрупненого збирання;

- застосування передової технології виготовлення й монтажу, оброблювальних верстатів із числовим програмним управлінням, автоматичних і напівавтоматичних зварювальних і газорізальних установок, збирання та зварювання конструкцій в кондукторах, застосування на монтажі болтових з'єднань замість зварних, конвеєрного монтажу та ін.

Крім того, в проектах упроваджують рішення, які б забезпечували одержання високоякісних зварних і болтових з'єднань, тобто розташування зварних швів і болтів у місцях, зручних для проведення робіт і контролю якості, а також вибір раціональної конструктивної форми зварних з'єднань, яка б запобігала утворенню великих зварювальних напружень і деформацій, виключаючи концентратори напружень і знижуючи схильність до крихких руйнувань.

Проектні рішення повинні забезпечувати надійну експлуатацію конструкцій протягом розрахункового терміну служби будівлі або споруди при максимальних трудових і грошових затратах на утримання конструкцій і поточний ремонт.

## 20.3. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ І СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ

Усі сталеві конструкції відповідно до нормативів 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 шогол);

2. Конструкції або їх елементи, що працюють при статистичному навантаженні на розтяг, згин, згин із розтягом (ферми, ригелі рам, балки перекриттів і покрить, опори ліній електропередач, за виключенням опор великих переходів, опори збірних шин і вимикачів відкритих розподільчих пристроїв підстанцій; елементи комбінованих опор антенних споруд і трубопроводи ГЕС, насосних станцій тощо);

3. Конструкції або їх елементи, що працюють при статичному навантаженні на стиск і стиск із згином (колони, стійки, опорні плити); конструкції, які підтримують технологічне обладнання; опори відкритих розподільних пристроїв, за виключенням опор групи 2; елементи стволів і башт антенних споруд; прогони покрить;

4. Допоміжні конструкції будівель і споруд (зв'язуючі, елементи фахверхів, 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 найекономічнішою за витратами металу, найменш трудомісткою при виготовленні та зручною при монтажі.

В основі типізації лежить принцип модульності, тобто співрозмірність розмірів елементів, кратності їх визначеної величини, яка називається модулем. На сьогодні для промислових і виробничих будівель загального призначення розроблені креслення типових колон, ферм, підкранових балок, ліхтарів і допоміжних конструкцій. Застосування типових конструкцій різко прискорює проектування і виготовлення конструкцій, знижує вартість і покращує якість.

## 20.4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Міцність зварних з'єднань — це їх здатність чинити опір руйнуванню або їх незворотна зміна форми (пластична деформація) при дії зовнішніх навантажень.

Міцність зварних з'єднань залежить від багатьох факторів і в першу чергу від властивостей зварювальних матеріалів, а також від характеру напруженого стану, включаючи залишкові напруження, а також від умов, при яких експлуатують дане зварне з'єднання.

Основний кількісний показник міцності зварних з'єднань — це їх механічні властивості, які можуть змінюватися залежно від умов навантаження. Статичну міцність розраховують в умовах статичного навантаження.

Для зварного з'єднання вона може змінюватися в значних межах залежно від наявності 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 проводиться на стандартних зразках різної конфігурації залежно від схеми навантаження (в зварних з'єднаннях переважно розтяг, згин й удар).

При проведенні термічної обробки зварних з'єднань для визначення механічних властивостей вимірюють твердість основного металу, а також металу шва і біляшовної зони.

При проектуванні зварних з'єднань головною умовою є умова рівноміцності. Це значить, що зварне з'єднання повинне бути рівноміцним основному металу при заданих умовах його роботи. При цьому міцність і пластичність металу шва повинна бути не нижче відповідних показників основного металу.

Складніше буває забезпечити відповідні показники міцності в біляшовній зоні (зоні термічного впливу), особливо при зварюванні легованих 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 дуговим.

## 20.5. ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ЗВАРЮВАНІСТЬ

Під зварюваністю розуміють комплексну технологічну характеристику металів і сплавів, яка визначає вплив процесу зварювання на властивості зварювальних матеріалів та їх технологічну придатність для виконання зварних з'єднань із заданими властивостями. Зварюваність залежить від багатьох факторів і ступінь її в різних матеріалів неоднакова.

Ступінь зварюваності показує, наскільки змінюються властивості матеріалу при зварюванні і чи можливо використати зварне з'єднання при даних умовах. Для оцінки зварюваності існує декілька показників зварюваності, які визначаються методом порівняння відповідних показників зварюваного матеріалу й зварного з'єднання та вимірюються у відсотках. Наприклад, це можуть бути показники зварюваності за тимчасовим опором розриву, за ударною в'язкістю тощо. Звичайно зварюваність оцінюють за сукупністю характеристик, які визначають відповідно до конкретних вимог щодо зварної конструкції. До вказаних характеристик відносяться випробування: на опір утворенню холодних і гарячих тріщин (на технологічну міцність), статичну міцність, ударний згин, втомлювальну міцність і міцність при низьких температурах, на тривалу міцність при високих температурах, а також інші випробування.

Технологічна міцність зварних з'єднань — це їх здатність без руйнувань витримувати різні дії, які можуть виникнути в процесі зварювання, вистигання або вилежування зварних конструкцій під впливом зварювальних деформацій і напружень.

Основним критерієм технологічної міцності зварних з'єднань, який визначає їх експлуатаційну надійність, є опір утворенню гарячих і холодних тріщин.

Технологічна міцність зварного з'єднання попередньо оцінюється за хімічним складом за методом визначення еквівалента вуглецю ( $C_e$ ) за формулою:

$$C_e = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V) 10.$$

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 підігріву.

При більш високому вмісті  $C_e$  необхідна різна ступінь підігріву або зварювання взагалі неможливе.

Залежно від хімічного складу сталь може мати задовільну опірність гарячим і холодним тріщинам, при вмісті вуглецю і легуючих елементів на нижніх границях і практично не зварюватися при їх вмісті на верхніх границях.

В основному для металокопструкцій застосовують гарячекатаний фасонний (кутники, двотаври, швелери) та листовий прокат, гнуті профілі з низьколегованої сталі Ст3 нс, Ст3 сп, 09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД, 16Г2АФ. У збірних залізобетонних копструкціях використовують арматурну гарячекатану сталь періодичного профілю Ст3 нс, Ст5 нс, 35ГС, 25Г2С. Ці сталі добре зварюються, але при зварюванні деяких застосовують спеціальні технологічні прийоми.

Будівельні копструкції зварюють як при їх виготовленні, так і при спорудженні та монтажі з них будівельних об'єктів на відкритих площадках. При цьому, якщо копструкції 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 копструктивні 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 незручних і тісних робочих місцях, та в умовах, необхідних для виконання швів у нижньому, вертикальному, горизонтальному і стельовому положеннях.

Відзначені особливості зварювання в будівництві необхідно враховувати при підборі та експлуатації обладнання; виборі, зберіганні й підготовці до зварювання покритих електродів; розробці технології зварювання, а також при навчанні зварників. При ручному дуговому зварюванні будівельних копструкцій використовують електроди з рутиловим, ільменітовим й основним видами покриття типу Э42, Э42А, Э46, Э50А за ГОСТом 9467-75, призначених для зварювання у всіх просторових положеннях. Стрижні вказаних електродів в основному виготовляють із зварювального дроту Св-08 і Св-08А.

#### **Підготовка будівельних копструкцій включає такі операції:**

— огляд копструкцій 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, вологи, 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 копструкції проекту і тільки після цього виконання зварювання.

Основні марки електродів, які використовуються для зварювання будівельних копструкцій: МР-3, МР-4, 03С-4, Ротекс-03С12, АНО-4, МР-3Р, 03С-4І, 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, полярність і сила зварювального струму, напруга (довжина) дуги, швидкість зварювання, температура підігріву металу (останні два параметри характерні для зварювання сталей, які вимагають спеціальних технологічних прийомів). Значення параметрів установлюють залежно від марки, товщини й температури основного металу, типу зварного з'єднання та способу виконання швів у просторі, геометричних розмірів швів і вимог щодо зварних з'єднань.

Для зварювання у нижньому положенні діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварних деталей (табл. 20.1).

Таблиця 20.1

#### **Вибір діаметра електрода від товщини металу**

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм
1–2	1,6–2,0
2,1–3	2,5–3,0
3,1–5	3,0–4,0
5,1–12	4,0–5,0
≤ 12,1	5,0

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 пачці з електродами. Максимальну величину  $I_{зв}$  застосовують для зварювання у нижньому положенні, в інших положеннях силу струму знижують на 10–25%. Техніка й технологія зварювання відповідає вимогам, які ставляться до аналогічних з'єднань.

## **20.6. КОПСТРУКТИВНА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ЗВАРЮВАЛЬНІ НАПРУГИ ТА ДЕФОРМАЦІЇ**

Копструктивною міцністю називається здатність копструкції чинити опір тим граничним етапам, від яких залежать її властивості й призначення. Таким чином, копструктивна міцність — це складна взаємодія властивостей матеріалів, які входять до її складу, і властивостей самої копструкції (статична міцність, міцність при втомлюванні металу, холодостійкість, опір повзучості, технологічна

міцність, корозійна стійкість та ін.). Конструктивна міцність також залежить від умов роботи конструкції, які визначаються зовнішніми факторами (характер і величина навантажень, характер і величина напружень, температура, час експлуатації та ін.).

Здатність конструкції чинити опір появі граничних станів називається її несучою здатністю.

На практиці в розрахунках приймають поняття — розрахункова міцність. Це здатність конструкції чинити опір появі тих граничних станів, від яких залежить її властивості. Її визначають розрахунковим шляхом на основі експериментальних характеристик матеріалу й теоретичного апарата. Розрахункова міцність не співпадає з конструктивною за деякими причинами, основними із яких є:

1. Теперішній стан науки про міцність металів не дозволяє враховувати одночасно дію 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 вірогідність 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 конструкцію 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 поверхневих або об'ємних сил. Власні напруження виникають унаслідок деформації металу різних видів: температурних, які проявляються при змінах температури або внаслідок структурних перетворень; візуальних, які характеризуються зміною розмірів тіла — лінійних і кутових, внутрішніх (пружних і пластичних).

Причинами виникнення власних напружень можуть бути: механічне або пластичне деформування при збиранні, правленні та монтажі; пружні й пластичні деформації внаслідок нерівномірного нагріву при зварюванні або термообробці; структурні і фазові перетворення, що супроводжуються нерівномірною зміною об'єму.

На міцність зварних конструкцій значно впливають раціональна послідовність збирально-зварювальних операцій, конструкції пристосувань і оснащення, а також наявність і характер дефектів у зварних швах.

## 20.7. БАЛКОВІ Й РЕШТЧАСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Балка — це конструктивний елемент суцільного перерізу, призначений для роботи на поперечний згин. Балки використовують у різних перекриттях, робочих площадках, естакадах, мостах, підкранових балках та інших конструкціях. Суцільностінові балки найчастіше застосовують для невеликих прогонів при великих навантаженнях. У випадку великих прогонів і малих навантаженнях раціональніше використовувати наскрізні балки або ферми, оскільки в даному випадку економія металу більш суттєва.

Типи поперечних перерізів і розмірів зварних балок надзвичайно різноманітні. Якщо навантаження прикладене до вертикальної площини, частіше використовують балки двотаврового перерізу. При прикладанні навантаження до вертикальної та горизонтальної площин, а також при дії обертового моменту доцільніше використовувати балки коробчастого перерізу.

Звичайний зварний двотавр складається з трьох основних листових елементів, стінки та двох полицок. Збирання балки (рис. 20.5) повинно забезпечити симетрію й взаємну перпендикулярність полицок і стінки, притиснення їх одне до одного та закріплення прихватками.

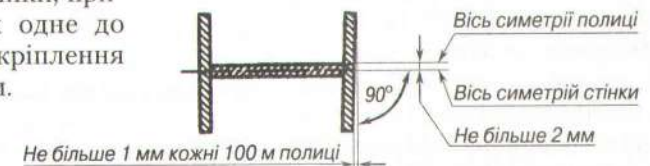


Рис. 20.5. Допуски на збирання H-подібного перерізу

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 й операцію повторюють.

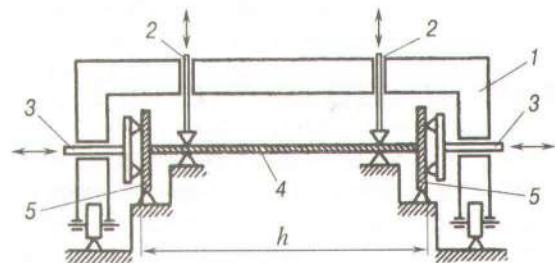


Рис. 20.7. Схема самохідного порталу для збирання двотаврової балки:

1 — портал; 2, 3 — вертикальний і горизонтальний притискачі; 4 — стінка балки; 5 — полички балки

Наявність у порталі вертикальних притискачів дозволяє збирати балки значної висоти  $h$ , на боячись втрати стінки 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 похилим 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 — похилим електродом; в — «у човник»

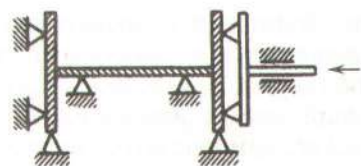


Рис. 20.6. Схема кондуктора для збирання двотаврової балки

них гвинтів 3 і балка закріплюється системою затискачів 4. У випадку, коли довжина балки велика і необхідно попередити її прогин, між опорами можна розташувати опорні роз'ємні кільця.

При зварюванні двотаврових балок значної висоти використовують прості пристосування (рис. 20.10), які є складовою частиною збирального 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 привідний вал і забезпечують поворот балки в потрібне положення.

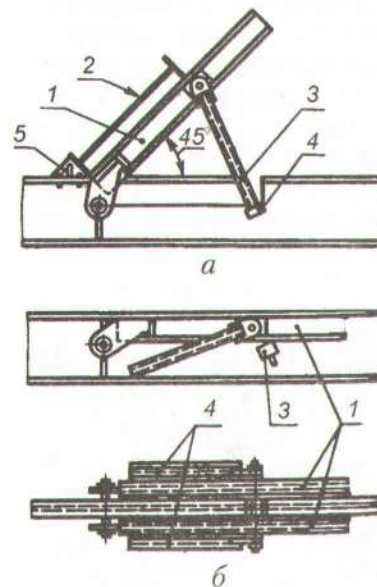


Рис. 20.10. Пристрій для встановлення балок під зварювання:

1 — підставка; 2 — балка; 3 — стійка; 4 — гніздо; 5 — знімна опора

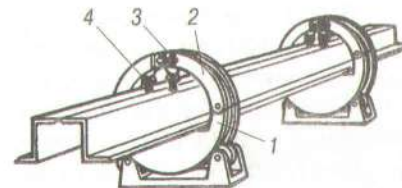


Рис. 20.9. Кантувач з кільцями:

1 — нижня частина кільця; 2 — відкидна частина кільця; 3 — відкидні гвинти; 4 — система затискачів

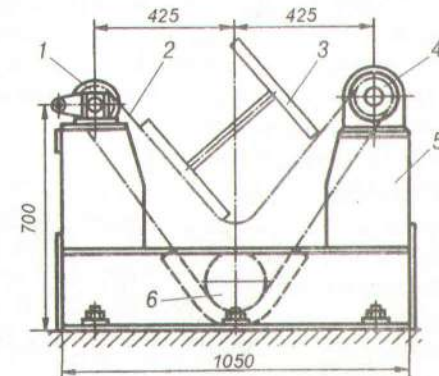


Рис. 20.11. Ланцюговий кантувач:

1, 4 — холоста і ведуча зірочки; 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, за допомогою якої можна здійснити такий 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 роликами залежно від ширини пояса і товщини стінки. Рух зварного елемента здійснюється привідним роликом 4. Кінці балки підтримуються роликами опорних візків 5. Другий пояс для одержання двотаврових балок може приварюватися при повторному пропусканні тавра через установку.

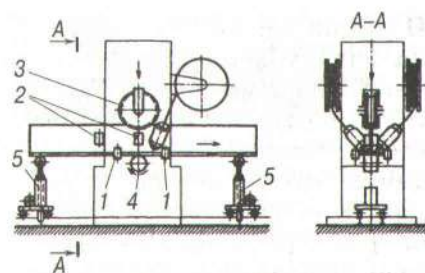


Рис. 20.12. Схема верстата для зварювання балок таврового профілю:

1, 2 — ролики для центрування елементів тавра; 3 — натискний ролик; 4 — привідний ролик; 5 — ролики опорних візків

Для високопродуктивного виготовлення зварних балок у неперервних автоматичних лініях 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).

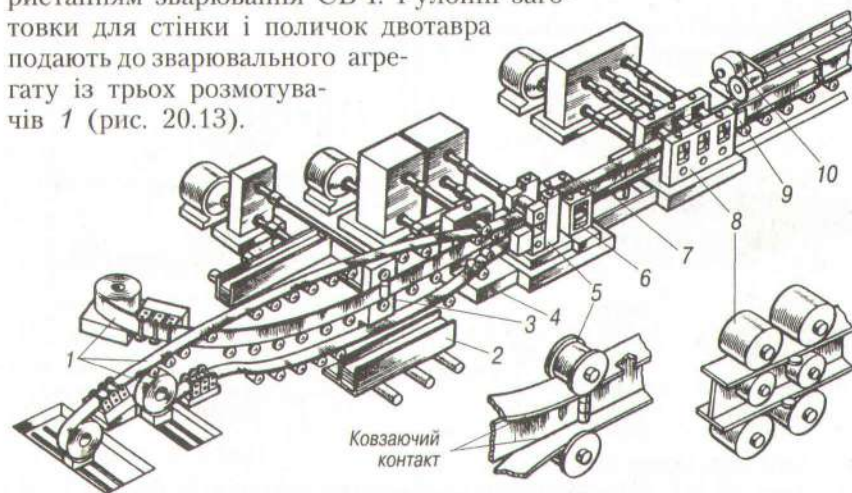


Рис. 20.13. Схема агрегату для виготовлення двотаврових профілів зварюванням СВЧ:

1 — полочки і стінка балки; 2 — живильник для жорстких заготовок; 3 — машина для осадки; 4 — пристрій для гнуття; 5 — зварювальна установка; 6 — вогневе зачищення; 7 — зона охолодження; 8 — правлення; 9 — дефектоскопія; 10 — літаюча пилка

Пристрій для гнуття 4 забезпечує подачу полочки у зону зварювання під кутом  $4-7^\circ$  до кромки 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 притисними роликами. При безпосередньому приварюванні полочки до стінки (рис. 20.15 а) зварне з'єднання отримує несприятливу форму. Холодна висадка кромки стінки із зачищенням з'єднання в гарячому стані дозволяє забезпечити плавний перехід від стінки до полочки (рис. 20.15 б), відповідно з цим у агрегаті (див. рисунок 20.13) кромки проходять попередню 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 літаючою пилкою 10. У випадку значної товщини полочок їх жорсткі заготовки подають не в рулонах, а з живильників 2 поштучно. У процесі зварювання ці заготовки проходять зварювальний агрегат, щільно притиснуті торцями одна до одної.

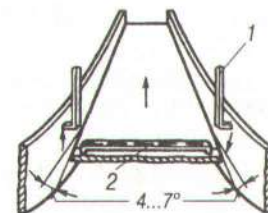


Рис. 20.14. Схема підводу струму в зону зварювання:

1, 2 — ковзаючі контакти



Рис. 20.15. Варіанти з'єднання стінки балки з полочкою

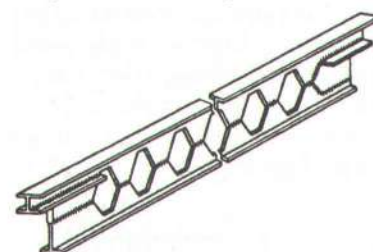


Рис. 20.16. Балка з перфорованою стінкою із двох широкополочкових двотаврів

У промисловості широко застосовують наскрізні (перфоровані) двотаврові балки. Розпуск стінки гарячекатаного двотавра за ламаною лінією з наступним зварюванням показано на рис. 20.16.

Суміщенням і зварюванням гребенів, які виступають, забезпечують одержання елемента двотаврового перерізу з шестикутними отворами, які нагадують бджолині соти.

Часом такі балки називають «сотовими». Вони мають ряд переваг; при однаковій витраті металу момент інерції наскрізного двотавра в 1,5–2 рази більший ніж у вихідного прокатного.

Але при виготовленні «сотових» балок є певні труднощі (короблення балок після розпуску прокатного двотавра, необхідність застосування кондукторів для збирання і зварювання).

«Сотові» балки конкурентноздатні 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 балок, колон та інших елементів будівельних конструкцій. Між собою підкранові балки з'єднують болтами, пропущеними через торцеві ребра жорсткості, а виступи цих ребер жорсткості опираються на колони (рис. 20.17).

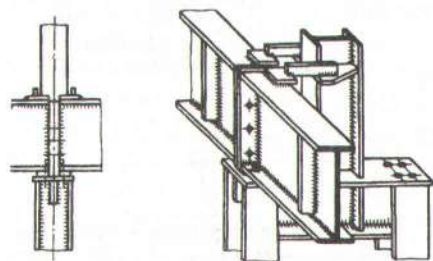


Рис. 20.17. Кріплення підкранової балки до колони

Колони можуть бути постійного та змінного перерізу, суцільні й решітчасті. Їх переріз виконують складовими з використанням 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).

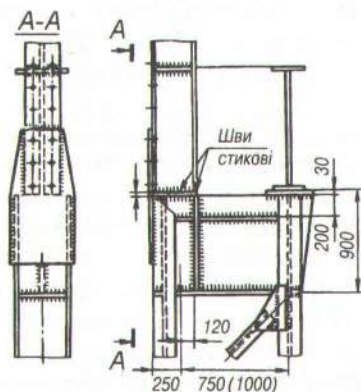


Рис. 20.18. З'єднання верхньої частини ступеневої колони з нижньою за крайнім рядом

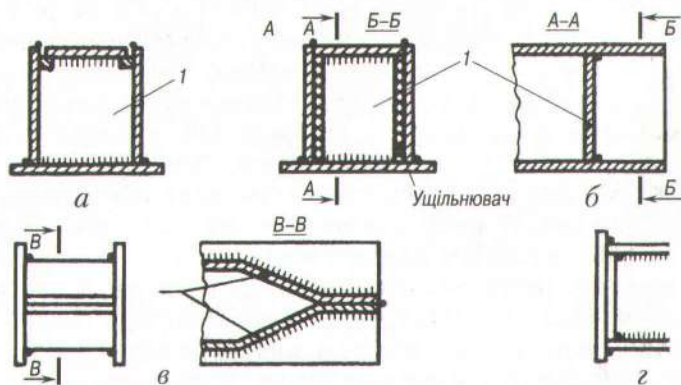


Рис. 20.19. Поперечні перерізи зварних коробчастих елементів

Для пофарбування внутрішньої порожнини в одному (рис. 20.20 а, б, в) або в двох (рис. 20.20 г) горизонтальних листах роблять перфорацію, тобто овальні отвори, які рівномірно розташовані вздовж повздовжньої осі.

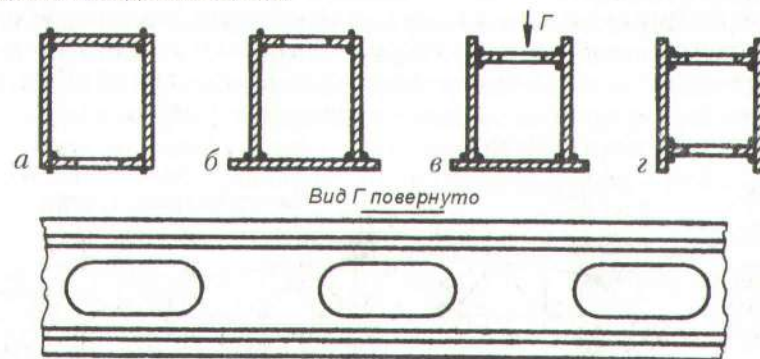


Рис. 20.20. Елементи коробчастого перерізу з перфорованою стінкою

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 дводугові 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 повздовжні зусилля стиску або розтягу. Це дозволяє більш рціонально 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 стійок. Відаль між вузлами решітки ферми називається панеллю, а відаль між її опорами — прогоном.

Ферми класифікуються за такими ознаками (рис. 20.21):

— призначенням — ферми мостів, покриття (стропильні, підстропильні), транспортні естакади, гідротехнічні затвори, вантажопідйомні крани;

— профілем окреслення поясів — ферми з паралельними поясами, полігональні, абочні, трикутні. Окреслення поясів визначається призначенням ферми та прийнятої конструктивної схеми всієї споруди;

— системою решітки — ферми з трикутною решіткою і трикутною з додатковими стійками.

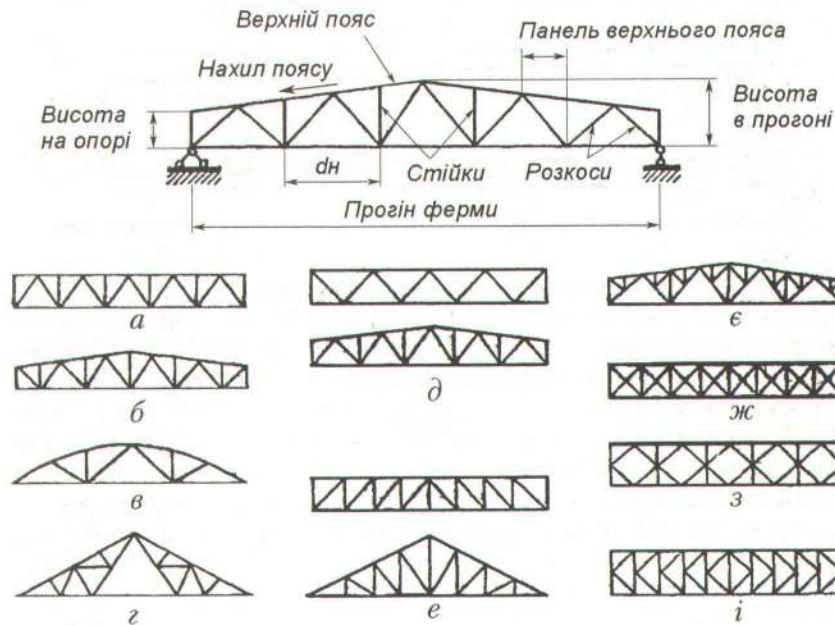


Рис. 20.21. Елементи ферм та їх класифікація за окресленнями поясів і типом решітки:

*a* — з паралельними поясами; *б* — полігональні; *в* — абочні (сегментні); *г* — трикутні; *д* — з трикутною решіткою; *е* — з розкосією решіткою; *є* — з шпренгельною 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. Шпренгельну решітку застосовують у випадку частішого прикладання зосереджених сил до верхнього пояса. Хрестоподібну решітку у фермах використовують при двобічному навантаженні. Решітки ромбічні й напіврозкриті застосовують рідко, в основному в конструкціях з великими поперечними силами.

За видом статистичної схеми ферми бувають нерозрізаними, розрізаними та консольними. Залежно від зусиль в елементах ферми їх поділяють на легкі (прогоном до 50 м і найбільшим зусиллям у поясах  $N_{max} = 5000$  кН) й важкі; за конструктивним рішенням — на звичайні, комбіновані та з поперечним напруженням.

Найчастіше у перерізах елементів ферм використовують спарені кутники. Комбінуючі перерізи з рівнобічних і нерівнобічних кутників, з'єднуючи їх малими і великими полицками, можна одержати переріз, рівностійкий в обох площинах, який добре працює на повздовжню силу. Кріплення ферми до колон показано на рис. 20.22.



Рис. 20.22. Кріплення ферм 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.

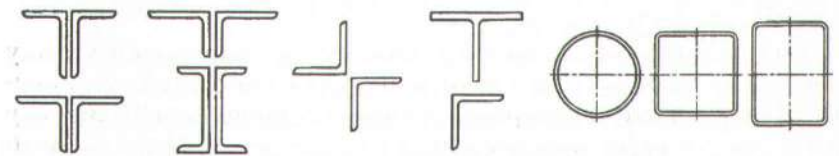


Рис 20.23. Типи перерізів елементів ферм

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. Перспективним є застосування контактної 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 спільна 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 кріплення 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).

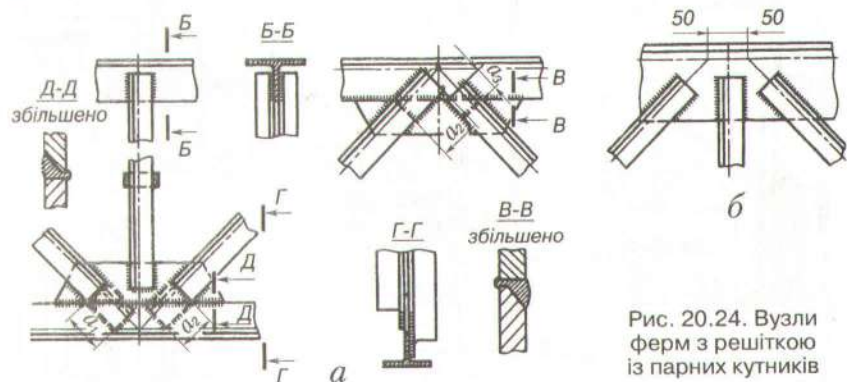


Рис. 20.24. Вузли ферм з решіткою із парних кутників

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 розчлени операції спочатку збирання, потім зварювання. Кінці кутників, розкосів рекомендується зміщувати для цієї мети вздовж осі розкосу на віддаль  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  (рис. 20.24 а) щодо парних їм 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 сплющують, що спрощує їх з'єднання у вузлах дуговим зварюванням. Значно простіше з'єднувати у вузлах труби прямокутного або квадратного перерізу. У цьому випадку вузли можна формувати без косинок (рис. 20.26).

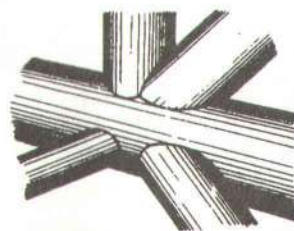


Рис. 20.25. З'єднання труб, підготовлене до зварювання

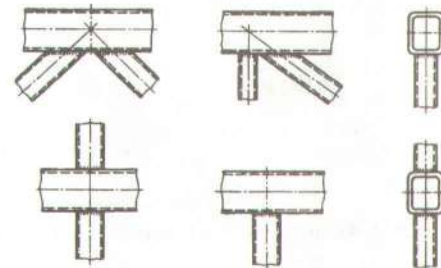


Рис. 20.26. Безкосинкові вузли

Плоскі ферми збирають по копіру або в пристроях (кондукторах; рис. 20.27). Метод копіювання полягає в тому, що за розміткою виготовляють одну напівферму, яка є копіром, і закріплюють її на стелажі. По ній ведуть збирання робочої напівферми, розкладають усі деталі дзеркально і з'єднують їх між собою дуговим зварюванням прихватками довжиною 30–40 мм. Потім напівферму знімають з копіру і приєднують деталі, яких не вистачає.

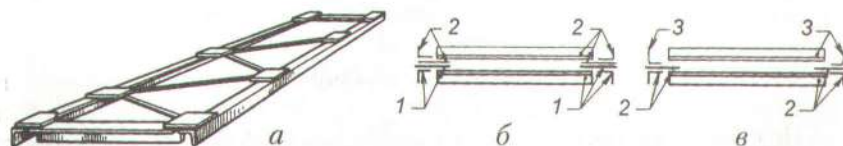


Рис. 20.27. Схема збирання ферми по копіру:

а — перша зібрана по копіру ферма, переріз якої складають одиночні 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 плити для збирання.

За розміткою геометричної схеми ферми, відповідно до креслень настройки кондуктора, встановлюють і прихвачують фіксатором 1, 7 опорного вузла, опори 2, 4 кутників, фіксаторів з поясів, фіксатори 5, 6 косинок.

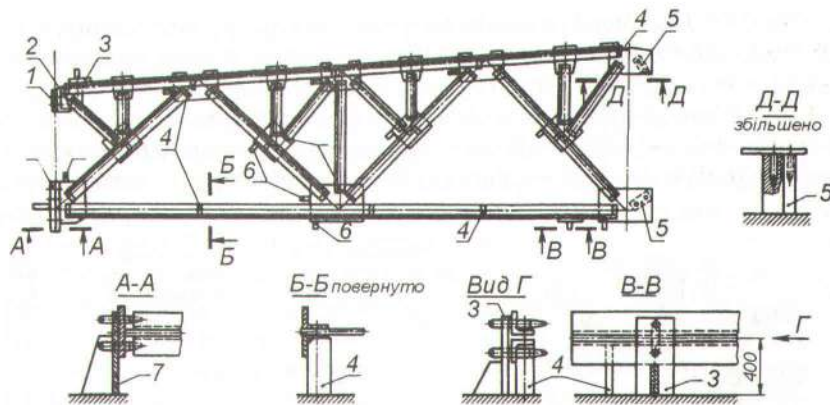


Рис. 20.28. Збирання ферми в кондукторі:

1, 7 — фіксатори; 2, 4 — кутники; 3 — фіксатор поясів; 5, 6 — фіксатори косинок

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 виробу при зварюванні. Вузли ферми зварюють покритими електродами або механізованим дуговим зварюванням у середовищі  $CO_2$  суцільним або порошковим дротом. Зварювання ведуть у нижньому положенні від краю косинки до центра пересічення осей елементів ферми. Контроль якості складається з візуального огляду та вимірюванні геометричних розмірів швів.

### 20.8.1. Щогли і башти

При значних розмірах решітчастих конструкцій їх виготовляють на заводах частинами і відправляють на місце вантажу окремими габаритними секціями.

Просторові решітчасті конструкції баштового крана (радіомаяки, радіобашти, конструкції бурових вишок та ін.) дуже високі, піддаються значним вітровим навантаженням і тому їх виготовляють переважно із трубчастих елементів. Так, стандартна радіощогла — це решітчаста конструкція, яка утримується у вертикальному положенні 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 поясних 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 готових секцій, або шляхом попереднього збирання на рівні землі в горизонтальному положенні з наступним підйомом і встановленням на основу. В останньому випадку доцільно використовувати вертоліт (рис. 20.29). Підйом башти висотою до 90 м займає 3,5–5 хв.

Рис. 20.29. Схема монтажу башти із застосуванням вертольота:

1 — зібрана башта; 2 — вертоліт; 3 — консоль; 4 — підйомна тяга; 5 — гальмівна тяга; 6 — поворотний шарнір; 7 — опора

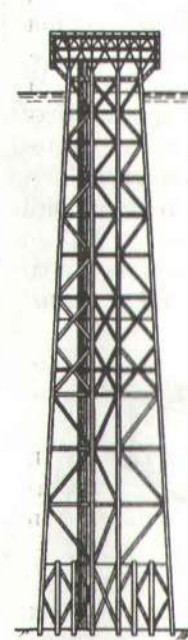
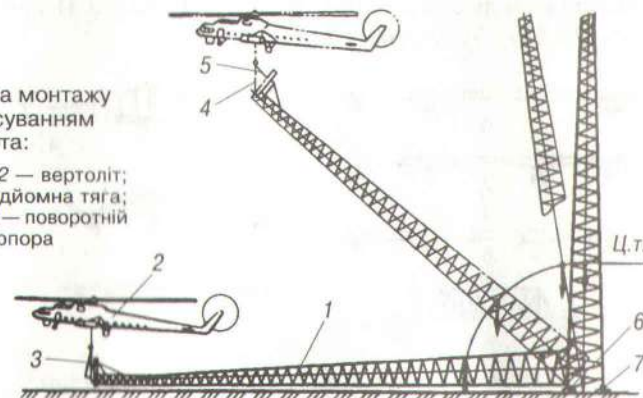


Рис. 20.30. Стационарна основа морської бурової платформи

Зібрану башту закріплюють у поворотних шарнірах, установлених на фундаменті. В оголовку башти монтується система, що складається з консолі 3, підйомника 4 і гальмівних тяг 5, які закінчуються балансовою траверсою. Після зависання вертольота над оголовком башти два монтажники прикріплюють траверсу до дистанційно розташованого замка зовнішньої підвіски і виходить із зони монтажу, а вертоліт 2 починає підйом. У зоні нейтрального положення башти, коли її центр ваги знаходиться на одній вертикалі з поворотним шарніром 6, вертоліт зменшує швидкість і пропускає башту вперед. Проходить перерозподіл зусиль між підйомною тягою 4 і гальмівною 5. При цьому вертоліт виконує функцію якоря, що переміщується. Коли башта займе проектне положення, вертоліт знижується, ослаблюючи її, і монтажники закріплюють опори 7.

**Бурові установки** (рис. 20.30) для видобутку нафти й газу у відкритому морі працюють в особливих умовах тому, що крім вітрового навантаження витримують значні навантаження від ударів хвиль. Це призводить до збільшення розмірів конструкцій, збільшення товщини з'єднувальних елементів, різноманітності конструктивних форм і технологічних прийомів виготовлення.

## 20.8.2. Мостові конструкції

На виробництві найчастіше використовують балкові мости: розрізні, нерозрізні, 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, вантів або ланцюгів (рис. 20.31 *д, е*). Арочні мости (рис. 20.31 *і*) будують у гірських районах.

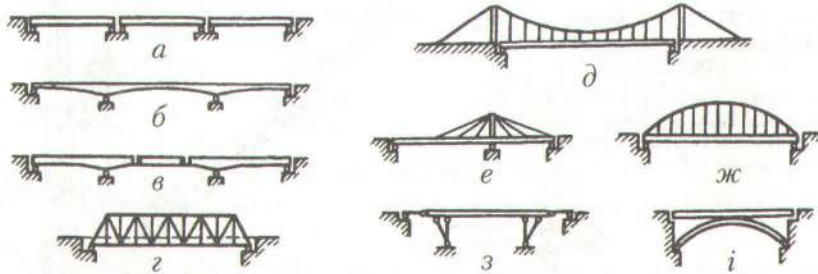


Рис.20.31. Схема сталевих мостів

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 прогонна 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.

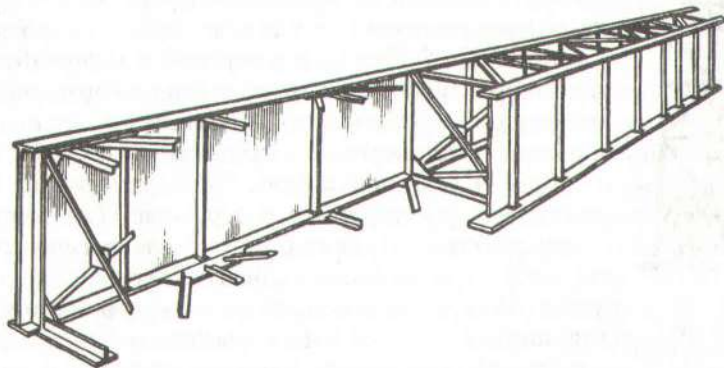


Рис. 20.32. Головні балки і зв'язки прогінного моста

## 20.9. АРМАТУРА ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Зварювання застосовують при виготовленні зварних арматурних виробів і закладних деталей, при монтажі арматурних виробів, а також при монтажі збірних залізобетонних конструкцій (рис. 20.33).

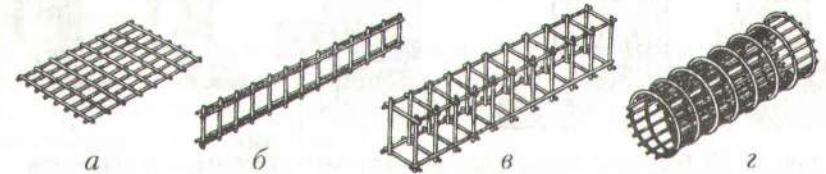


Рис. 20.33. Приклади зварних арматурних виробів:

*а* — сітки; *б* — плоскі каркаси; *в* — просторові каркаси прямокутного перерізу; *г* — просторові каркаси круглого перерізу

Сталева арматура поділяється на стрижневу та дротяну, а також на гладку і періодичного профілю. На рис. 20.34 показані характерні приклади з'єднань, виконаних зварюванням таких видів: контактним (*а, б, в*) дуговим (*д-з*), їх комбінацією (*г*) і ванним (*і*). У будівництві застосовують збірні залізобетонні конструкції, які виготовляються індустріальними методами на заводах за допомогою контактної зварювання стрижнів, які пересікаються.

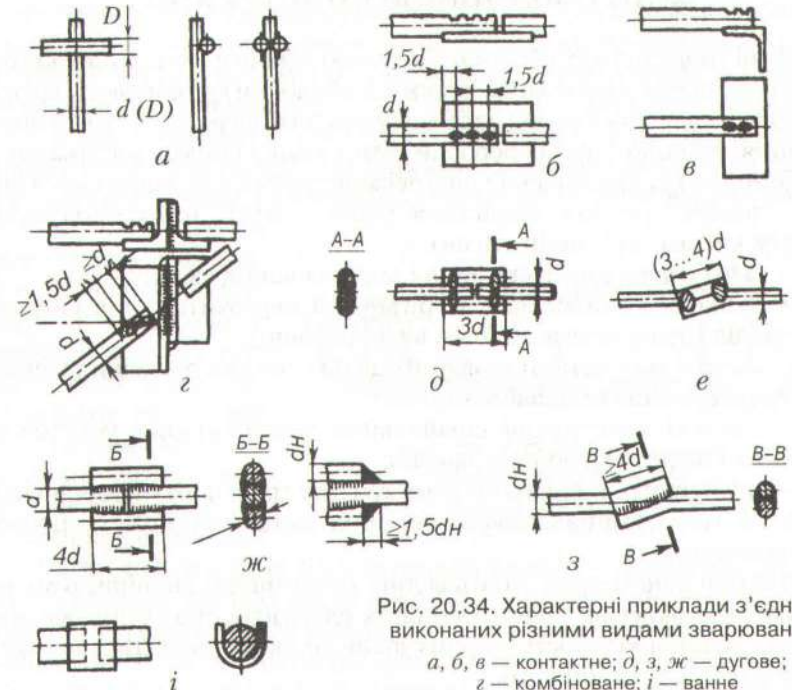


Рис. 20.34. Характерні приклади з'єднань, виконаних різними видами зварювання:

*а, б, в* — контактне; *д, з, ж* — дугове; *г* — 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.

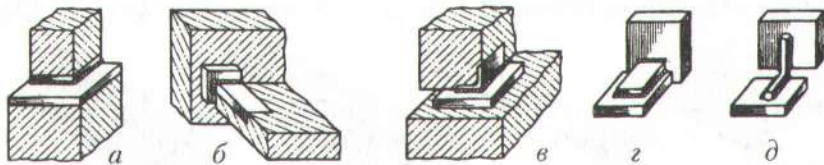


Рис. 20.35. Монтажні зварні з'єднання збірних залізобетонних елементів

Спільну роботу всіх елементів просторового залізобетонного каркаса забезпечують також використанням збірно-монолітних конструктивних рішень (рис. 20.36).

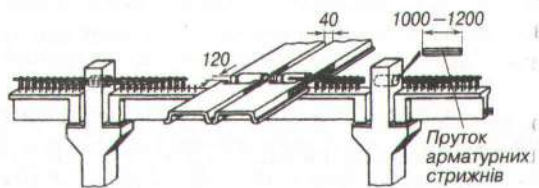


Рис. 20.36. З'єднання збірно-монолітної конструкції каркаса будівлі

## 20.10. ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Різні споруди типу оболонки, несучою основою яких є плоскі або зігнуті металеві листи (пластинки та оболонки) утворюють групу листових конструкцій, які застосовують для зберігання, транспортування, технологічної переробки рідин, газів і сипких матеріалів.

Залежно від призначення листові конструкції класифікуються на:

- резервуари для зберігання рідин (нафти, нафтопродуктів, спирту, кислот, зріджених газів);
- газгольдери для зберігання і вирівнювання складу газів;
- бункери і силоси для зберігання й перевантаження сипких матеріалів (руди, цементу, піску, вугілля тощо);
- листові конструкції доменних цехів (кожухи доменних печей, повітрянагрівачів, пилловловлювачів);
- 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 короткий 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 корозієстійкого 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 конструкції великих розмірів можливий значний об'єм збирально-зварювальних робіт, які намагаються виконувати в умовах заводу-виготівника. Розміри елементів конструкцій, що перевозяться до місця монтажу, не повинні перевищувати габарити рухомого складу залізничних доріг. Листові полотна товщиною до 18 мм перевозять у вигляді рулонів. Метод рулонування розроблено в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона. Крупні 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 яруса 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.

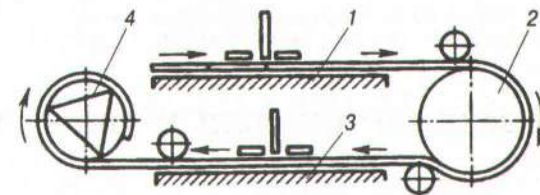


Рис. 20.37. Принципова схема двоярусного пристрою:

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 напусткового 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 м<sup>3</sup>. Обробка кромки нижніх поясів на верстаках забезпечує щільне збирання стикових з'єднань. Зібрані внапусток листи мають риски, які суміщуються з рисками поздовжніх осей поясів на настилі стенда. Схема збирання і зварювання перших двох секцій цього полотнища на верхньому ярусі показана на рис. 20.39. Римські цифри вказують послідовність укладки листів, арабські — послідовність зварювання швів.

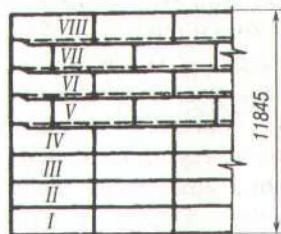


Рис. 20.38. Схема розташування листів у стінці резервуара об'ємом 5000 м<sup>3</sup>

Для скручування рулонів на стані і наступного транспортування їх до місця монтажу застосовують жорсткі просторові каркаси, а завантаження рулонів на залізничні платформи виконується методом перекошування із стелажів проміжного складу з використанням підйомної сили мостового крана.

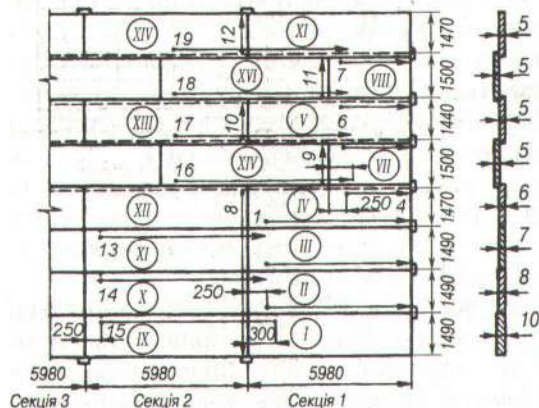


Рис. 20.39. Послідовність збирання та зварювання стінки резервуара об'ємом 5000 м<sup>3</sup>

## 20.11. ВЕРТИКАЛЬНІ ЦИЛІНДРИЧНІ РЕЗЕРВУАРИ

Вертикальні циліндричні резервуари призначені для зберігання нафти, нафтопродуктів, інших рідин. Резервуари об'ємом 5000 м<sup>3</sup> (рис. 20.40) споруджують із стаціонарним конічним дахом.

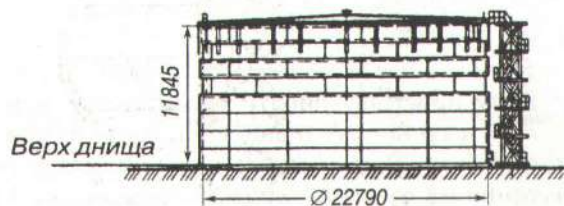


Рис.20.40. Резервуар об'ємом 5000 м<sup>3</sup> із стаціонарним конічним дахом

Розширюється будівництво ізоtermічних резервуарів для зберігання зріджених газів при низькій температурі та атмосферному тиску. Такий метод зберігання економічно вигідніший порівняно із зберіганням газів у резервуарах під тиском. Застосовують одно- (рис. 20.41) і двостінні (рис. 20.42) конструкції.

В одностінному 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 засипається теплоізоляційним матеріалом. Двостінні резервуари дозволяють забезпечити надійну теплоізоляцію для зберігання продуктів при дуже низьких температурах (-180°C).

При спорудженні вертикальних резервуарів дуже широко застосовується метод рулоновання полотнищ.

Спорудженню резервуара передують підготовка монтажної площадки і основи резервуара, на якому збирається днище із рулонних заготовок. Для резервуарів об'ємом до 10 000 м<sup>3</sup> 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 напустки 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 напустковому з'єднанні днища вирізають «лиску» й зварюють ділянку довжиною 250–300 мм стиковим швом на підкладці, яка залишається. Посилення шва знімають.

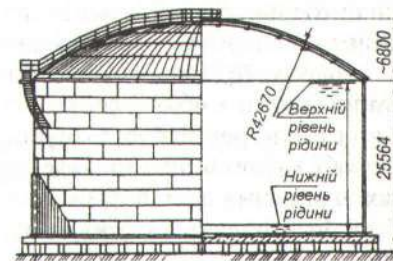


Рис. 20.41. Ізоtermічний одностінний резервуар

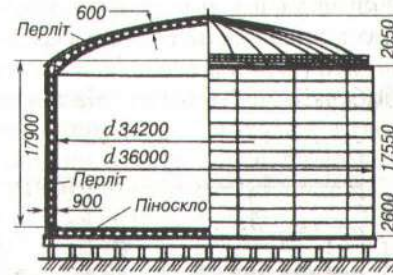


Рис. 20.42. Ізоtermічний двостінний резервуар

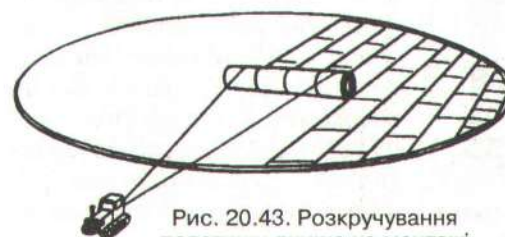


Рис. 20.43. Розкручування полотнищ днища на монтажі

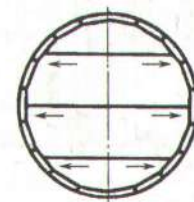


Рис. 20.44. Напрямок зварювання монтажних швів

Оскільки кінцевий шов, який з'єднує бокову стінку з днищем, у цьому випадку виконується при повністю звареному днищі, можливе його здуття внаслідок втрати стійкості. При виготовленні резервуарів великого об'єму (понад 10 000 м<sup>3</sup>) для запобігання утворенню таких деформацій у виді рулону виготовляють тільки центральну частину днища, а окантовані елементи зварюють між собою при монтажі з окремих листів. Для збирання використовують клинові пристрої. Центральну частину днища 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 напустці і тільки тоді шви між центральною частиною днища і окантованими елементами зварюють повністю.

Стінки резервуарів поставляють на монтажну площадку в одному або декількох рулонах. На підготовленому днищі рулони встановлюють у вертикальному положенні (рис. 20.45).

Розгортаючи рулон, нижню кромку стінки прикріплюють до днища прихватками (рис. 20.46).

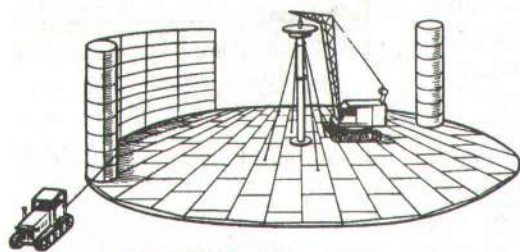


Рис. 20.45. Розвертання рулонової стінки резервуара

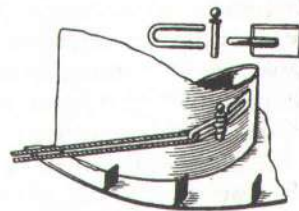


Рис. 20.46. Кріплення троса на рулоні при його розвертанні

Верхню кромку фіксують або одночасно змонтованими щитами 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).

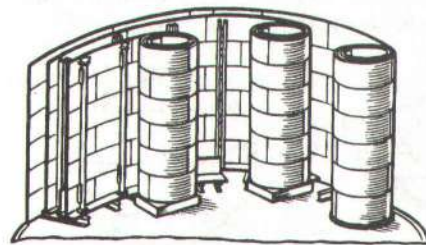


Рис. 20.47. Паралельне розгортання рулонів мокрого газгольдера

Розглянуті прийоми монтажу успішно використовуються для резервуарів об'ємом до 30 000 м<sup>3</sup>. 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 шаблона (рис. 20.48).

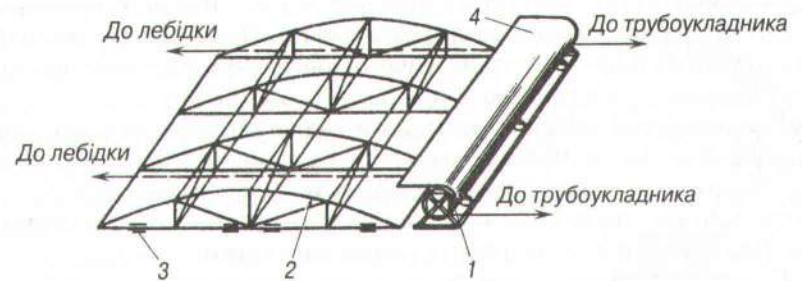


Рис. 20.48. Схема горизонтального розгортання рулону з допомогою шаблона: 1 — рама; 2 — шаблон; 3 — шарнірні опори; 4 — рулон

Шаблон 2 — це просторова конструкція, яка складається з декількох плоских ферм, з'єднаних прогонами 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 днища резервуара так, щоб після повороту шаблона у вертикальне положення його криволінійні поверхні співпали з проектним положенням вертикальної стінки.

Рулон 4, який розгортають, закріплюють у вертикальному положенні в центрі рами, яку встановлюють поряд з шаблоном. Розгорнуте за допомогою лебідок і трубоукладачів полотнище кріплять до елементів верхніх поясів шаблона. Потім до зовнішніх поверхонь розгорнутого полотнища підганяють і приварюють секції кілець 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 проектному положенні полотнище закріплюють із зовнішнього боку резервуара і приварюють до днища. Потім шаблон від'єднують від полотнища та днища, переносять на наступну ділянку і цикл повторюється.

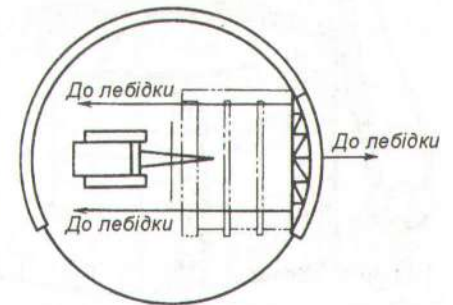


Рис. 20.49. Підйом чергової секції стінки резервуара

При товщині металу понад 18 мм для резервуарів об'ємом 50 000 і 100 000 м<sup>3</sup> використовують метод блочного збирання. У цьому випадку окремі листи збирають у блоки на заводах-виготівниках. Блоки з'єднують багатшаровими монтажними зварними швами. Вертикальні стінки монтують з окремих листів чи блоків, починаючи з нижнього пояса методом нарощування. На днище 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 стика 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 м<sup>3</sup>. На резервуарах можуть бути плаваючі дахи будь-яких розмірів при відсутності в районах їх спорудження значних снігових опадів.

Стационарний дах монтують з окремих щитів. Із збільшенням розмірів резервуарів та їх діаметрів трудність спорудження покрить зростає. Тому ведуться пошуки нових конструктивних і технологічних рішень, які дозволяють організувати поточне виробництво покрить із невеликої кількості стандартних елементів. Одним із перспективних напрямів є створення куполів, які збираються із однакових плоских або просторових елементів обмеженої кількості типів. Індивідуально виготовляються тільки елементи опирання щитів на кромку стінки.

Уніфіковані щити покриття виконані з листів металу товщиною 4 мм з елементами жорсткості, розташованими в одному напрямку з нижнього боку листа, а в другому напрямку — з верхнього. Виключивши перерізи елементів жорсткості, одержують стійку техно-

логічну 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.

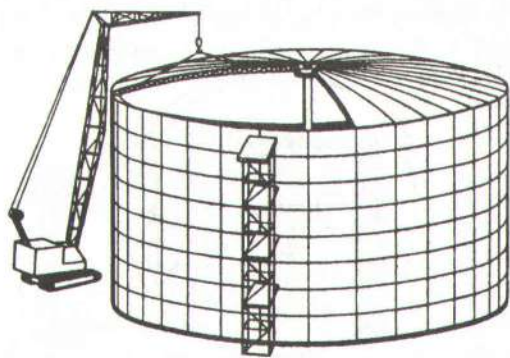


Рис. 20.50. Монтаж щитів стационарного даху

## 20.12. СФЕРИЧНІ РЕЗЕРВУАРИ

Сферичні резервуари споруджують об'ємом 600 м<sup>3</sup> і 2 000 м<sup>3</sup>, діаметром 10,5 м і 16 м відповідно, при товщині оболонки 16–36 мм (рис. 20.51).

При розкроюванні (рис. 20.52 а, б, в) і товщині до 22 мм пелюстки одержують холодним вальцюванням за допомогою спеціального багатовалкового станда. Заготовки перед вальцюванням збирають із листів і зварюють автоматичним зварюванням під флюсом. Вихідну форму заготовки надають газовим різанням по шаблону-копіру. Розміри, одержані після вальцювання пелюсток, перевищують габарит рухомого залізничного ешалону. Тому їх після контрольного збирання розрізають на дві нерівні частини і випуклістю вниз укладають на спеціальні контейнери для перевезення до місця монтажу. Елементи, які надійшли із заводу, на монтажі збирають у блоки. Зварювання блоків виконують у нижньому положенні під флюсом на стендах-качалках. Можливе електрошлакове зварювання (рис. 20.53).



Рис. 20.51. Сферичний резервуар об'ємом 600 м<sup>3</sup>

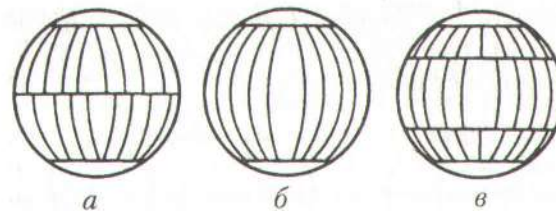


Рис. 20.52. Схеми розкрою корпусів сферичного резервуара



Рис. 20.53. Послідовність збирання резервуара методом послідовного нарощування при горизонтальній орієнтації блоків

Форма розробки кромки і послідовність їх заповнення залежать від товщини стінки резервуара. При товщині стінки 16 мм застосовують двобічне автоматичне зварювання без розробки кромки. Перший шов виконують із внутрішнього боку оболонки по ручному підвареному шару, другий — зовні. При товщині оболонки 34 мм більшість швів виконують із зовнішнього боку. Застосування

маніпуляторів при монтажі резервуарів дозволило основний об'єм зварювальних робіт виконувати автоматичним зварюванням. Але є й серйозні недоліки: необхідно обертати важку конструкцію, використовуючи складні маніпулятори.

Зварювання з примусовим формуванням може виконуватися на одному боці або на двох. Зібрані стики закріплюють прихватковими швами або за допомогою тимчасових скоб. Ущільнення стиків може забезпечуватися і без прихваткових швів, формуючими підкладками (рис. 20.54 *a*) або водоохолоджувальними трубками (рис. 20.54 *б, в*).

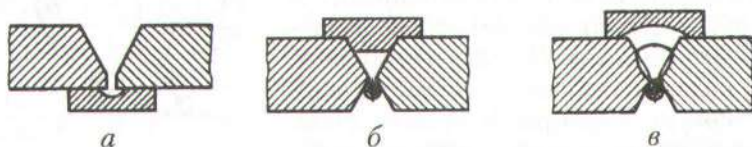


Рис. 20.54. Схеми зварювання стиків:

*a* — формуюча підкладка; *б, в* — водоохолоджувальні трубки

### 20.13. ПОСУДИНИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ПІД ТИСКОМ. ТИПИ ПОСУДИН

Посудини, що працюють під тиском, виготовляють у формі циліндра (рис. 20.55 *a*), тора (рис. 20.55 *б*) або сфери (рис. 55 *в*). Характерними для посудини є стикові з'єднання.

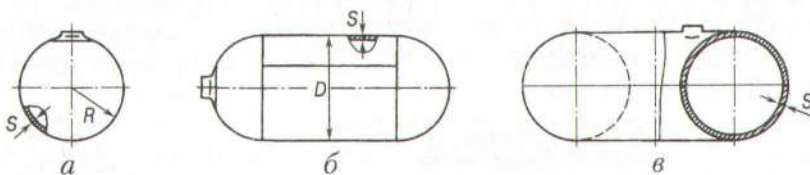


Рис. 20.55. Типи посудин, які працюють під тиском:

*a* — сфера; *б* — циліндр; *в* — тор

«Обичайки» зварюють прямолійними поздовжніми швами. Кільцевими швами з'єднують сферичні днища та «обичайки», круговими швами вварюють 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 особливо міцних 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 *a*) 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

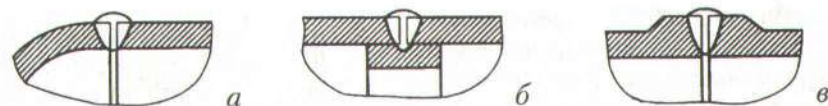


Рис. 20.56. Конструктивне оформлення кільцевих стиків:

*a* — з'єднання без підкладки; *б* — з'єднання з підкладкою, що залишається; *в* — місцеве ущільнення стінки 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 стінки в зоні шва (рис. 20.56 *в*) використовують у випадку необхідності компенсувати послаблення основного металу в зоні з'єднання.

Технологія збирання та одностороннього зварювання поздовжніх швів тонкостінних посудин передбачає застосування стендів із клавішними 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 закриті ємкості, призначені для виконання різних хімічних і теплових процесів, а також для зберігання і перевезення стиснених, 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 («лежаки», «булліти») та автоклави.

До посудин із внутрішніми пристроями відноситься нафтохімічна апаратура багатьох видів: колони ректифікаційні, абсорбери, реактори, фільтри, а також теплообмінна апаратура.

Посудини, які працюють під тиском, зустрічаються на підприємствах усіх галузей народного господарства.

Конструкція посудин повинна бути достатньо надійною, безпечною в експлуатації та передбачати можливість зовнішнього й внутрішнього огляду, промивання, продування та ремонту.

Зварні шви посудин, які працюють під тиском, повинні бути тільки стиковими; допускається застосування таврових зварних з'єднань для приварювання плоских днищ, плоских приварених фланців, а також штуцерів — врізок труб у стінки посудин. При вварюванні штуцерів з метою підвищення надійності з'єднання встановлюють накладку, яку іноді називають «коміром».

На рис. 20.57 наведено схему встановлення й приварювання штуцера з накладкою. У стикових зварних з'єднаннях посудин з різною товщиною стінок повинен бути забезпечений плавний перехід від одного елемента до іншого. Перехресні пересічення зварних швів, виконаних ручним дуговим зварюванням, не допускаються. В цьому випадку шви повинні бути зміщені один щодо одного на віддаль, яка дорівнює двократній товщині найтовстішого 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  $140^\circ$ .

У випадку приварювання опор або інших конструкцій до корпусу або днища посудини зварні шви розташовують (рис. 20.58) поза її опорою. 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.

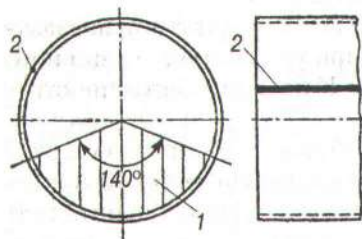


Рис. 20.58. Розташування поздовжніх швів у горизонтальній посудині: 1 — зона, в якій зварні шви не розташовуються; 2 — зварний шов

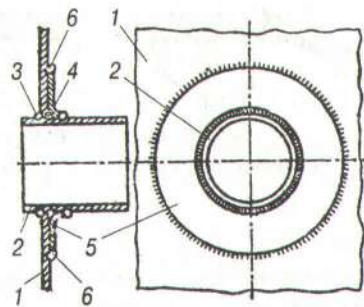


Рис. 20.57. Установлення штуцера на корпусі посудини:

1 — стінка посудини; 2 — штуцер; 3 — внутрішній шов (при діаметрі посудини 800 мм і більше); 4 — зовнішній шов; 5 — накладка («комір»); 6 — шви приварювання «комірів»

(діаметри) також коливаються у великому діапазоні. Нероз'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 зупинок виробництва, так і об'єктів комунального господарства, де дефекти в трубопроводах газу можуть призвести до тяжких наслідків.

**Надійність трубопроводів** — це їхня здатність протягом заданого часу забезпечувати транспортування продуктів за заданим проектом і технічними умовами параметрами процесу і тиску, витратами, температурою.

**Критерії надійності** — безвідмовність, довговічність і ремонтоздатність.

**Безвідмовність** — здатність працювати із заданим режимом протягом певного часу без порушення його працездатності (розриву труби або стика, 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  $-150^\circ\text{C}$  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 6–1 600 мм із низьковуглецевих, низько- і високолегованих сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів і неметалевих матеріалів

## 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 і реконструкції промислових об'єктів, спорудженні об'єктів транспорту, нафтопереробної і нафтохімічної 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

(пластмас, скла та ін.). Незважаючи на велику різновидність трубопроводів, всі вони виготовляються із стандартних або нормалізованих деталей (рис. 20.59).

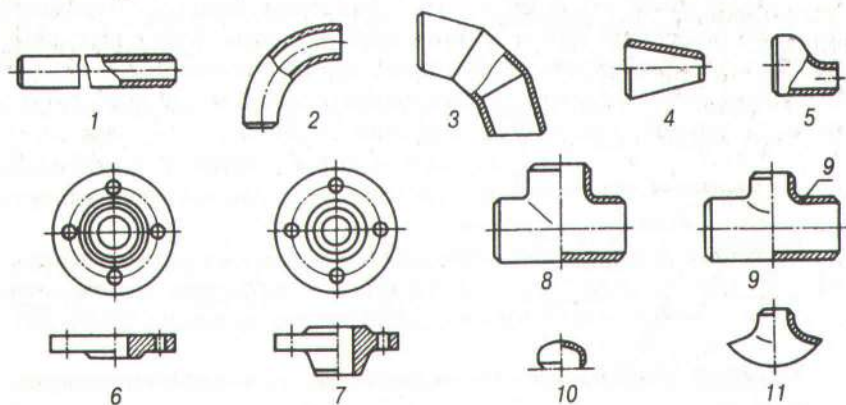


Рис.20.59. Приварені деталі сталевих трубопроводів:

1 — патрубок (відрізок труби); 2 — крутозигнутий відвід; 3 — зварний відвід; 4 — конічний перехід; 5 — ексцентричний перехід; 6 — плоскі приварені фланці; 7 — плоскі приварені стикові фланці; 8 — рівнопрохідний трійник; 9 — нерівнопрохідний трійник; 10 — еліптична заглушка; 11 — накладна сідловина

Спочатку з окремих деталей зварюють елементи трубопроводу (рис. 20.60) в трубозаготівельних цехах. Елемент складається з двох і більше деталей.

Група	Приклади конструкційних елементів		
I Т-Д			
II Д-Т-Д			
III Д-Д			
IV Т-Д-Т			
V Д-Д-Т			
VI Д-Д-Д			

Рис. 20.60. Класифікація елементів трубопроводів: Т — труба; Д — деталь

Елементи групуються із деталей таким чином, щоб усі зварні з'єднання лежали в паралельних площинах. Це дозволяє зварювати їх механізованими способами в поворотному положенні 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).

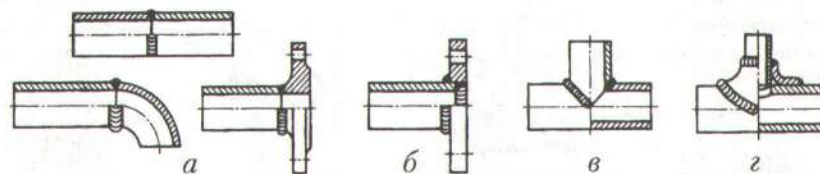


Рис. 20.61. Типи зварних з'єднань, які застосовуються при виготовленні й монтажі трубопроводів:

a — стикові; б — кутові; в — фасонні (при врізуванні труби в трубу); з — напусткові (при приварюванні сідловини)

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 кромки у просторі.

При зварюванні стиків міцність зварного з'єднання залежить від якості кореневого шва. Кореневий шов «на вазі» можна виконати (рис. 20.62): дуговим зварюванням покритим електродом, аргонодуговим та аргонодуговим зварюванням по розплавленому кільці.

Найкращу якість внутрішньої поверхні шва забезпечують останні два способи.

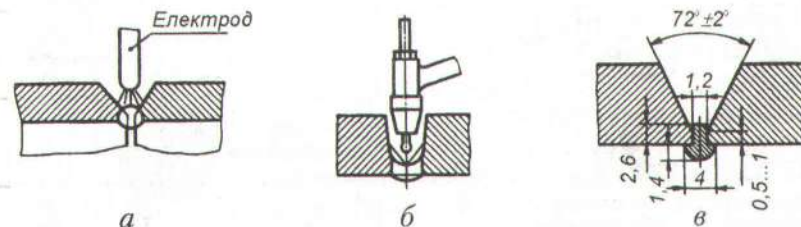


Рис. 20.62. Способи зварювання кореневого шару «на вазі»:

a — дуговим зварюванням покритим електродом; б — аргонодуговим зварюванням; в — аргонодуговим зварюванням по розплавленому кільці

### 20.14.1. Зварювання труб магістральних трубопроводів

Розвиток трубопровідного транспорту вимагає збільшення виробництва труб великих діаметрів із низьковуглецевих сталей. Для магістральних трубопроводів труби виконують зварюванням під флюсом, шов розташовують по утворюючій або по спіралі.

Технологічні операції виготовлення труб на Харцизькому трубному заводі наведено на рис. 20.63.

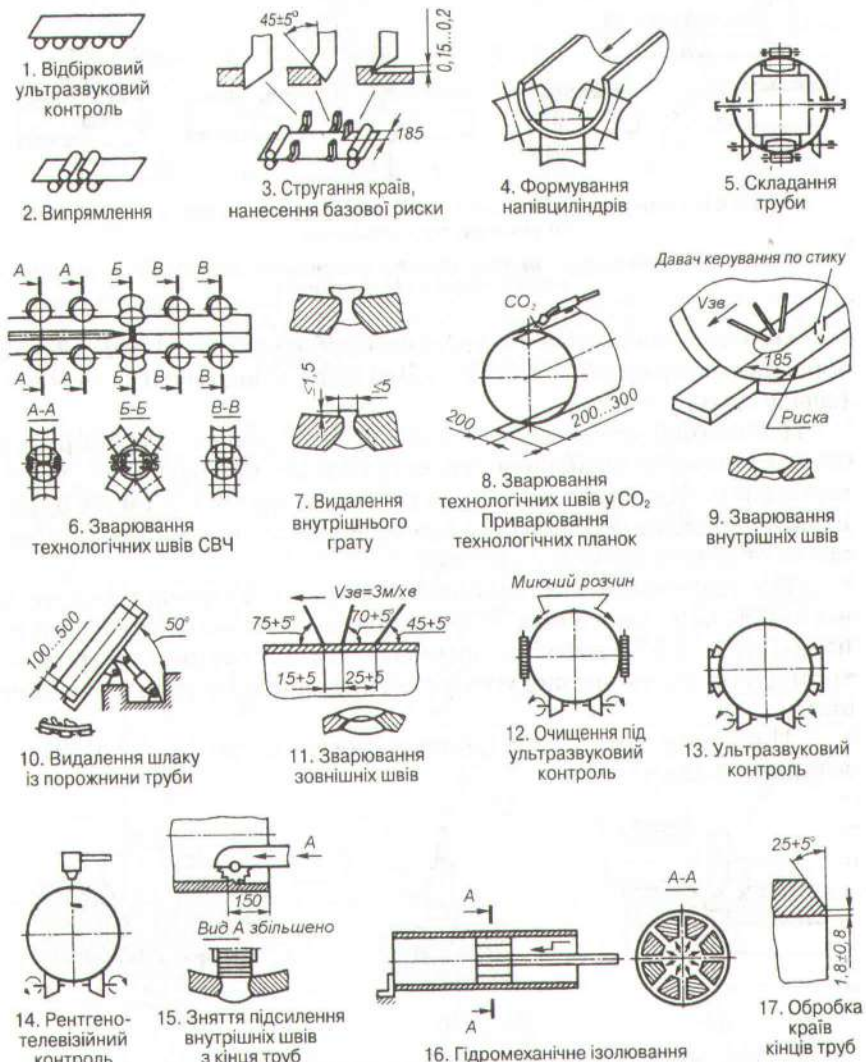


Рис. 20.63. Технологічні операції виготовлення труб на Харцизькому трубному заводі

Технологія виготовлення дванадцятиметрових прямошовних труб діаметром 1 020–1 420 мм на Харцизькому трубному заводі характеризується послідовністю виконання швів, прийомами 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 лінії (операція 3), яка використовується для автоматичного направлення електрода по стику.

Формування напівциліндричних заготовок (операція 4) проходить у рамках семикліткового верстата, звідки попарно надходять на збирання (операція 5) і прихватку технологічними швами. Останні виконуються струмами високої частоти або в середовищі вуглекислого газу в одному із двох агрегатів, установлених паралельно один до одного.

При виконанні швів СВЧ (операція 6) стики розташовують у горизонтальній площині і зварюють одночасно з наступним виділенням внутрішнього ґрату (операція 7).

При виконанні технологічних швів в  $CO_2$  (операція 8) стики розташовують у вертикальній площині і зварюють послідовно з кантуванням на  $180^\circ$  шістьма однодуговими апаратами, встановленими через кожні 2 м, при русі труби з швидкістю зварювання на довжині, яка трохи перевищує віддаль 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 ланцюговим заштовхувачем, а прийом і видача труби з маршовою швидкістю — роликним конвеєром. Зварювання здійснюють тридуговим апаратом А-1448 «на спуск», слідкування за напрямком електродів по стику проводиться автоматично або візуально шляхом суміщення вертикальної лінії «хреста» на екрані телевізора з лінією на внутрішній поверхні труби. Після виконання кожного робочого шва поверхню труби очищують на установках з поворотною рамою (операція 10). Стани для виконання зовнішніх робочих швів (операція 11) відрізняються тільки розташуванням зварювального апарата, а за положенням електродів відносно стика зварник слідкує за допомогою світлової вказівки. Попередньо охолоджені водою і мильним розчином (операція 12) труби проходять повний ультразвуковий контроль (операція 13) зовнішніх і внутрішніх робочих швів з відмічанням дефектних місць фарбою.

При наявності дефектних відміток трубу направляють на рентгенотелевізійну установку для розшифрування (операція 14).

Після обрізання кінців труби і зняття посилення внутрішнього шва на довжині 150 мм фрезерними головками (операція 15) внутрішню поверхню труби промивають на поворотній секції роликного конвеєра за допомогою гідромонітору і подають на калібрування,

яке здійснюється гідромеханічним експандером шляхом послідовного розтискання по всій довжині (операція 16). Для цього трубу кроками насувають на калібрувальну головку експандера.

При нерухомій трубі шток силового циліндра переміщує центральний клин з гранями і розсуває робочі сегменти, забезпечуючи розтискання 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 нафтопроводи прокладають від районів добування до великих промислових зон на віддалі 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 тимчасові польові бази, збирають у секції довжиною 36 м, потім перевозять безпосередньо на трасу трубопроводу транспортувальними 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 багат шаровий шов (рис. 20.64). Така організація робіт забезпечує високу продуктивність, але при цьому є велика потреба у висококваліфікованих робітниках — зварниках.

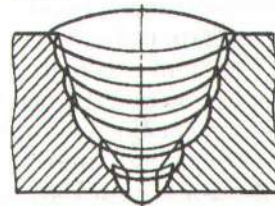


Рис. 20.64. Схема заповнення розробки кромок

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 проводять зачищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь поблизу кромок шліфувальними машинками з абразивними 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.

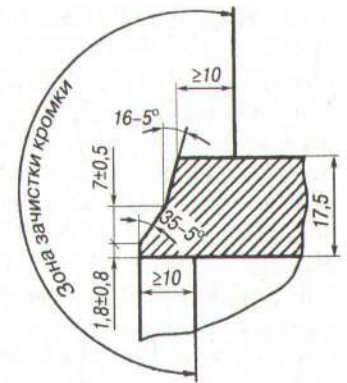


Рис. 20.65. Розробка кромок труби і зона їх зачищення

Збирання стика виконують за допомогою трубоукладача. Допуски на збирання стика показані на рис. 20.66.

Поточно-розчленований метод передбачає вкладання кожного шару окремими ланками зварників (рис. 20.67) у складі від двох до чотирьох чоловік залежно від діаметра трубопроводу. При цьому кожний із зварників ланки виконує тільки свою визначену ділянку шару на незмінному режимі. Порядок зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1 420 мм показано на рис. 20.68.

Два зварники із сходинок-драбинок ведуть зварювання верхньої напівкожності труби, а два інших зварюють нижню напівкожність труби.

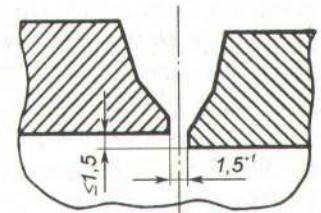


Рис. 20.66. Допуски на збирання стика труби

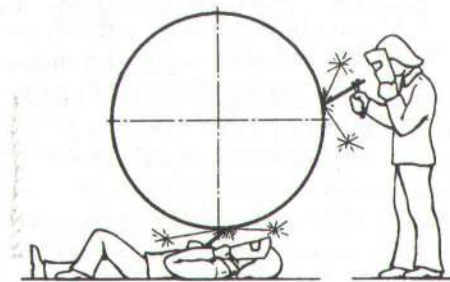


Рис. 20.67. Схема зварювання стика

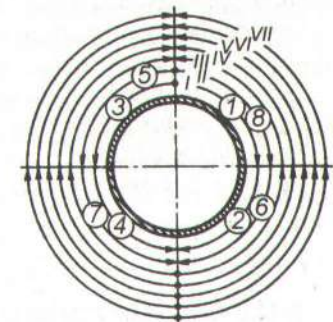


Рис. 20.68. Порядок накладання шарів шва при поточно-розчленованому методі роботи (діаметр труб 1420мм): I–VII — шари шва, 1–8 — розташування зварників

Корінний шов зварюють усі члени ланки, яка виконує збирання стика. Зварювання ведуть у напрямку зверху вниз методом опирання електрода на кромки труб без коливальних рухів. Застосування електродів із целюлозним покриттям забезпечує швидкість зварювання до 22 м/год і гарантує утворення зворотного валика в середині труби, що виключає необхідність підварювання кореня шва в середині труби. Але для таких електродів при високій продуктивності характерне утворення «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).

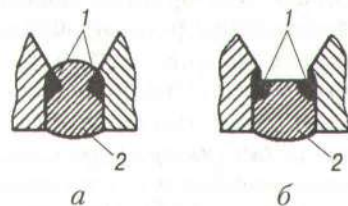


Рис. 20.69. Шліфування кореня шва абразивним кругом:

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 корінь шва менше схильний до крихких руйнувань 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 пристиковують 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 поперечними коливаннями електрода. Наступні шари, заповнюючі й облицювальні, виконуються електродами з основним покриттям.

Після зварювання кожного шару поверхню шва зачищають 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 чотирипостовій уніфікованій зварювальній установці (рис. 20.70). Вона комплектується переносною палаткою, що захищає місце розташування зварного стика від вітру, дощу або снігу. Палатка має заklenі вікна, додаткове освітлення, вентилятор для відсмоктування газів.

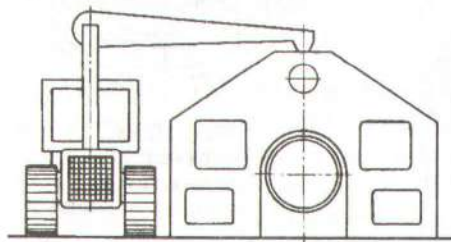


Рис. 20.70. Чотирипостова уніфікована зварювальна установка

#### 20.14.4. Зварювання трубопроводів у захисних газах

Зварювання в захисних газах ( $\text{CO}_2$  або  $\text{CO}_2+\text{Ar}$ ) внаслідок меншого стікання розплавленого металу широко застосовується при монтажі трубопроводів. При зварюванні неповоротних стиків на трасі застосовують механізоване чи автоматичне зварювання. Підготовка кромки під зварювання виконується двома пристроями, підвішеними на стрілах трубоукладача. Кожен пристрій закріплюють на внутрішній поверхні труби, після чого його шість головок з різцями обробляють торець труби. А сталеві дрютяні щітки захищають кромки в зоні зварювання. Після зачищення кромки установлюють стрічку-пояс, по якій будуть переміщуватися рамки зварювальних головок при зварюванні зовнішніх шарів шва.

Стик труби під зварювання збирають за допомогою трубоукладача і внутрішнього самохідного центратора, оснащеного шістьма зварювальними головками. Кожна зварювальна головка зварює 1/6 частину окружності стика. Захисний газ подається з балонів. Зварювання одночасно ведуть три головки однієї половинки стика, починаючи від zenіту і переміщуючись у напрямку зверху вниз від своїх вихідних позицій. Потім три автомати другої половинки завершують зварювання кореня шва.

Ще до закінчення зварювання корінного шва на ділянках стика з провареним 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 неповоротних стиків труб із застосуванням установок «Сатурн» комплексу «Стик» забезпечують високі темпи монтажу труб, можливість замінити чотири зварники, проводити зварювання стиків на прямолінійних 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 наповнення ємкостей відпрацьованими газами карбюраторних двигунів, які не містять кисню. Вони витискують із тари повітря разом з парами палива. Обов'язково встановлюють сітковий іскроуловлювач 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, надівають і закріплюють хомутом на сталевій трубі, яка опускається в ємкість з водою. Зовнішній діаметр труби підбирають так, щоб між нею та стінками отвору під пробку в ємкості 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. Вихлопні гази проходять через воду, що запобігає проскакуванню іскри в тару, і через іншу трубку з шлангом спрямовуються в ремонтвану тару. Відпрацьовані гази необхідно подавати в процесі всього ремонту. Час витиснення із тари повітря залежить від її місткості і становить 3–25 хв при місткості від 200 до 1700 л. Замість відпрацьованих можна використовувати інші 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 перетворити 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. Шліфування й поверхневе 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 впевнитися у повній ліквідації дефекту.

Вимоги до попередньої термообробки визначають залежно від складу матеріалу, його товщини і загальної жорсткості виробу.

Вибір процесу зварювання та обладнання часто обмежений, особливо коли ремонт виконують ручним дуговим зварюванням плавким електродом. При цьому слід пам'ятати, що умови, в яких проводять ремонт, більш складні, ніж при початковому виготовленні конструкції. Насамперед це утруднений доступ, матеріал насичений мастилом, підвищена вологість навколишнього середовища тощо. Крім зварювання для відновлення спрацьованих деталей використовують наплавлення і напilenня (газове, дугове, плазмове та ін.).

При розробці технологічного процесу ремонту слід визначити:

- режими попередньої й післязварювальної термообробки;
- тип зварювального процесу;
- характеристики зварювального обладнання;
- розхідні зварювальні матеріали;
- режими зварювального процесу;
- методику контролю зварювального процесу і 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, башт?
16. Які технологічні прийоми використовують при виготовленні арматури залізобетону?
17. Як класифікуються листові конструкції?
18. Які технологічні прийоми використовуються при спорудженні листових конструкцій та резервуарів.
19. Назвіть технологічні прийоми, які використовуються при спорудженні сферичних резервуарів.
20. Які технологічні прийоми використовують при виготовленні посудин, які працюють під тиском?
21. Назвіть вимоги, які ставляться до трубопроводів, та основні способи їх виготовлення.
22. Охарактеризуйте технологію виготовлення труб і способи зварювання їх стиків.
23. Назвіть порядок зварювання труб великого діаметра.
24. Виберіть марки електродів для зварювання будівельних металоконструкцій. Обґрунтуйте свій вибір.
25. Назвіть способи зварювання кореневого шару «на вазі».

## Розділ 21

### ДУГОВЕ РІЗАННЯ

#### 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 спалаху металу, згорянні підігрітого металу в кисні та видаленні продуктів горіння із зони різа струменем кисню.

Суть різання плавленням полягає в нагріванні місця різання сильним концентрованим джерелом до температури, вищої за температуру плавлення металу, і видування розплавленого металу з місця різа дугою або газами.

Основними видами різання окисненням є: кисневе, киснево-флюсове, киснево-дугове, а плавленням — плазмово-дугове, газолазерне, 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 різа — чистове й чорнове.

При роздільному різанні утворюються наскрізні розрізи (різання металу на частини, вирізання деталей із листа, скіс кромки під зварювання та ін.). Поверхневе різання призначене для зняття шару металу з поверхні оброблюваних деталей або заготовок (видалення дефектів швів, підготовка кромки під зварювання, стругання поверхні, виплавлювання канавок тощо). Інтенсивне нагрівання металу електричною дугою широко використовується для різання.

**Способи ручного і механізованого дугового різання:**

- неплавким і плавким покритими електродами;
- повітряно-дугове різання;
- киснево-дугове різання;
- плазмове різання;
- різання під флюсом;
- дугове різання обертовим сталевим диском;
- газолазерне;
- підводне.

Особливості термічного різання металів вказані в табл. 21.1–21.6.

Таблиця 21.1

## Способи різання різних металів

Метал	Кисневе	Киснево-флюсове	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Дугове	Газо-лазерне
Низьковуглецева сталь	+	0	+	+	0	+
Корозієстійка 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 спалаху в кисні. Застосовують ручне дугове і плазмово-дугове різання
Алюміній і його сплави	Найкращі результати дає плазмово-дугове різання. Кисневому різанню перешкоджає тугоплавкість шлаку і висока теплопровідність
Магній і його сплави	Практично використовують тільки плазмово-дугове різання
Мідь та її сплави	Ефективне плазмово-дугове різання. Використовують також дугове й киснево-флюсове різання, але необхідне підігрівання до температури 400–900°C
Титан і його сплави	Кисневе різання без труднощів і в декілька разів швидше. Застосовують також дугове й 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  $R_z$  по 10 точках на базовій довжині 8 мм.

Таблиця 21.4

## Класи точності вирізуваних деталей і заготовок (ГОСТ 14792-80)

Клас точності	Різання	Товщина листа, мм	Граничні відхилення при номінальних розмірах деталі, мм			
			до 500	500–1500	1500–2500	2500–5000
1	Кисневе	5–30	±1	±1,5	±2	±2,5
	і плазмово-дугове	30–60	±1	±1,5	±2	±2,5
	Кисневе	60–100	±1,5	±2	±2,5	±3
2	Кисневе	5–30	±2	±2,5	±3	±3,5
	і плазмово-дугове	30–60	±2,5	±3	±3,5	±4
	Кисневе	60–100	±3	±3,5	±4	±4,5
3	Кисневе	5–30	±3,5	±3,5	±4	±4,5
	і плазмово-дугове	30–60	±4	±4	±4,5	±5
	Кисневе	60–100	±4,5	±4,5	±5	±5,5

Таблиця 21.5

## Максимальна товщина високолегованої сталі при різних способах різання

Способи різання	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	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 оплавленої кромки не повинен перевищувати 2 мм.

## 21.2. РІЗАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Різання покритими електродами ґрунтоване на розплавленні металу електричною дугою і скапуванні його вниз під власною масою. Струм вибирають на 35–40% вищим, ніж при зварюванні. При різанні необхідно забезпечити стікання основного й електродного металу. Для цього метал розміщують горизонтально. Щоб полегшити стікання металу виконують пилоподібні рухи електродом (рис. 21.1). Кут нахилу електрода до металу становить 30–60°.



Рис. 21.1. Ручне дугове різання покритим електродом:

1 — розрізуваний метал, 2 — покритий електрод, 3 — траєкторія руху кінця електрода, 4 — витікаючий рідкий 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 упирання. Наявність покриття призводить при різанні до підвищення стійкості горіння дуги, уповільнення плавлення стрижня електрода, ізоляції його від стінок різа і прискорення різання завдяки окисненню розплавленого металу компонентами покриття. При цьому одержують більш чистий і вузький різ.

Для різання, стругання, прошивки отворів, вирізання дефектів у швах і литві використовують спеціальні електроди марок АНР-2, АНР-3, АНР-4, ОЗР-1, ОЗР-2. При різанні цими електродами поверхня різа чиста, кромки не насичуються вуглецем, аерозолі не містять шкідливих домішок. Технічні характеристики електродів для різання наведені в табл. 21.7. Сталевими покритими електродами можна різати сталь товщиною до 15 мм.

Таблиця 21.7

#### Технічні характеристики електродів для різання на повітрі

Марка електрода	Умове позначення ту	Діаметр, мм	Зварювальний струм, А	Витрата електродів, кг/кг виплавленого металу	Продуктивність різання, кг/год
АНР-2	$\frac{АНР-2-\emptyset}{14-4-682-76}$	4	250-300	0,35-0,55	6
		5	320-360	0,35-0,55	10
		6	350-420	0,35-0,55	14
АНР-3	$\frac{АНР-3-\emptyset}{ТУ-ІЕЗ-541-86}$	4	280-300	—	6
		5	300-400	—	11
		6	350-450	—	17
АНР-4	$\frac{АНР-4-\emptyset}{-}$	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	$\frac{ОЗР-1-\emptyset}{ТУ14-4-351-73}$	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	$\frac{ОЗР-2}{ТУ14-4-1595-90}$	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 електродами використовують вугільні й графітові електроди. Різання проходить за рахунок виплавлення металу із зони різання. Завдяки високій температурі нагрівання можна різати метали, які не піддаються кисневому різанні (чавун, високолеговані сталі, кольорові метали). Для різання використовують постійний і змінний струм максимальної потужності. Різання використовують зверху вниз, при цьому поверхню металу трохи нахиляють, щоб розплавлений метал вільно витікав із зони різання. Цей спосіб різання характеризується точністю і чистотою різання. Техніка різання подібна різанню покритими електродами. Вугільними електродами можна різати сталь товщиною до 100 мм при робочому струмі 1000 А.

### 21.4. ПОВІТРЯНО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

При повітряно-дуговому різанні використовують вугільні або графітові електроди та стиснене повітря. Застосовують також обміднені графітові електроди, покриті шаром міді товщиною близько 0,1 мм. Такі електроди є економічнішими.

При різанні метал розплавляється теплом електричної дуги, а потім видувається стисненим повітрям із зони різа. Частина металу згорає в кисні повітря. Цей спосіб різання застосовують для роздільного і поверхневого різання чавунів, нержавіючих сталей, кольорових металів товщиною до 20 мм. Різання виконують на постійному струмі зворотної полярності, а інколи використовують змінний струм. У якості джерела живлення струму використовують зварювальні перетворювачі й трансформатори. Електроди можуть бути круглими (діаметром 6-12 мм) і пластинчастими. Різаки для повітряно-дугового різання (РВДм-315, РВДл-315) бувають двох типів (табл. 21.8): із послідовним розташуванням повітряного струменя та з кільцевим розташуванням повітряного струменя відносно електрода. Тиск повітря повинен бути достатнім для видалення розплавленого металу без зниження стійкості горіння дуги і становити 0,4-0,6 МПа.

Таблиця 21.8

#### Технічні характеристики різаків для повітряно-дугового різання металів

Марка різака	Номинальний струм різання, А (при $\eta=100\%$ )	Продуктивність для низько-вуглецевої сталі, кг/год	Тиск стисненого повітря на виході, МПа	Витрата стисненого повітря, м <sup>3</sup> /год	Маса, кг
РВДм-315	Постійний	9,5	0,4-0,6	20	3,8
РВДл-315	Змінний	16,8	0,4-0,6	40-50	18,5

При роздільному різанні електрод занурюють у розрізуваний метал під кутом 45–60° до поверхні металу, а при поверхневому різанні — під кутом 35–45° (рис. 21.2). В міру обгорання електрод поступово висувають із губок електродотримача. Натискати на електрод не рекомендується, тому що при нагріванні він стає крихким і може тріснути. Ширина канавки різа в 1–3 рази більша за діаметр електрода.

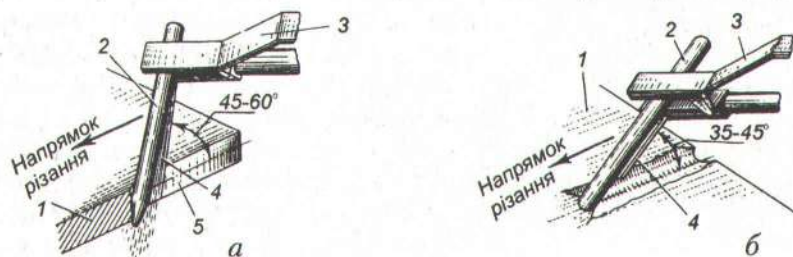


Рис. 21.2. Повітряно-дугове різання:

*a* — роздільне; *b* — 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.

Таблиця 21.9

#### Режими повітряно-дугового різання сталей

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Швидкість різання сталі, м/год	
			низьковуглецевої	нержавіючої
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
	10	450–500	10–12	12–14
20	12	540–600	12–14	14–15
	14	630–700	9–11	12–13

При повітряно-дуговому різанні повітря можна замінити киснем, який подають на розплавлений метал на відстані від дуги; вугільний електрод можна замінити металевим, для чого на звичайний електродотримач кріплять кільцеву насадку, через яку до різа подається кисень.

Недоліками повітряно-дугового різання є науглецьовування поверхні різа і необхідність додаткової механічної обробки.

## 21.5. КИСНЕВО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

Киснево-дугове різання полягає в тому, що метал розплавляється електричною дугою і згорає в струмені кисню. Утворені при цьому оксиди під впливом кисневого струменя витікають з порожнини різа. При згорянні металу в кисні утворюється додаткове тепло, яке прискорює процес різання.

Для киснево-дугового різання використовують вугільні, графітові, металеві й спеціальні плавкі трубчасті електроди з подачею 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 впирають у розрізану поверхню під кутом 80–85° до неї. Утворений на кінці електрода дашок із покриття забезпечує необхідну для різання довжину дуги. Режими киснево-дугового різання неплавким електродом наведено в табл. 21.10.

Таблиця 21.10

#### Режими киснево-дугового різання неплавким електродом

Режими різання на постійному струмі зворотної полярності

Діаметр електрода, мм	6	8	10	12
Сила струму, А	270–290	370–390	470–480	560–580

Режими різання на змінному струмі

Діаметр електрода, мм	10	12
Сила струму, А	450–500	550–600

При різанні звичайними покритими електродами до електродотримача для ручного зварювання під'єднують спеціальну підставку, за допомогою якої подається струмінь 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
Видрати кисню, дм <sup>3</sup> /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 легованих сталей, чавунів, кольорових металів.

## 21.6. ДУГОВЕ РІЗАННЯ ПІД ФЛЮСОМ, АРГОДУГОВЕ І РІЗАННЯ СТАЛЕВИМ ДИСКОМ

**Дугове різання** можна виконувати дугою, яка горить під флюсом. Високу якість забезпечує автоматичне дугове різання дротом марки Св-08 під флюсом марки АН-348. При використанні дроту діаметром 4 мм, напрузі дуги 42–44 В і струмі 1200 А ріжуть сталь товщиною 20 мм із швидкістю 30 м/год. Цей спосіб застосовують для різання труб при зварюванні їх на спеціальному трубозварювальному стенді спіральним швом.

**Аргонодугове різання** неплавким електродом доцільно використовувати для обробки листів товщиною до 5 мм із алюмінію, міді та їх сплавів, нержавіючих сталей та інших металів.

**Дугове різання обертовим сталевим диском** здійснюється таким чином. До сталевому диску і розрізуваному металу підводять електричний струм. При дотику обертового диска з металом виникає дуга, яка оплавлює метал і викидає його з місця різа. 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 видаленого металу. При використанні дисків, армованих вставками із стійкого сплаву, спрацювання зменшується до 20 разів. Джерелом живлення може бути будь-який знижувальний трансформатор потужністю до 30 кВт з напругою холостого ходу 10–30 В. Продуктивність різання пропорційна потужності джерела живлення.

## 21.7. ПЛАЗМОВО-ДУГОВЕ РІЗАННЯ

Плазмова дуга може бути подібною зварювальній дузі прямої і непрямої дії. У першому випадку одним з електродів є оброблюваний метал (рис. 21.3 б), в іншому — дуга збуджується між незалежними від металу електродами (рис. 21.3 а). Дугу прямої дії називають плазмовою, непрямою — 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 піддаються кисневому різанню: високолеговані сталі, алюміній, титан, мідь і їх сплави. Плазмовим струменем ріжуть тонкі метали.

Плазмово-дугове різання полягає в проплавленні металу на вузькій ділянці по лінії різа і видаленні розплавленого металу струменем плазми, утвореним у дузі. Дуга збуджується між металом і вольфрамовим електродом, розташованим у головці різачка. При

різанні плазмовим струменем метал не вмикається 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 плазмоутворюючих газів і для захисту вольфрамового електрода застосовують аргон, азот, суміші аргону з азотом, воднем і повітрям, стиснене повітря.

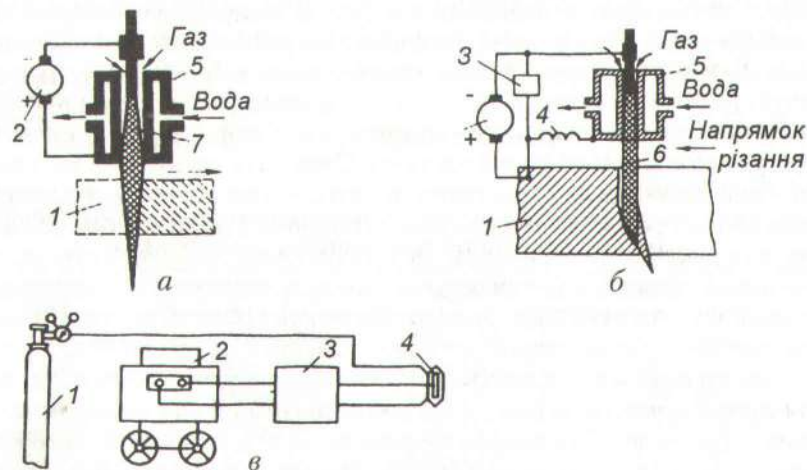


Рис. 21.3. Схема плазмового різання:

а — плазмовим струменем; б — плазмовою дугою; 1 — розрізуваний метал; 2 — джерело живлення; 3 — осцилятор; 4 — реостат, який регулює допоміжну дугу; 5 — плазмотрон; 6 — плазмова дуга; 7 — плазмовий струмінь; в — плазмова установка: 1 — балон з газом; 2 — джерело живлення; 3 — баластний реостат; 4 — плазмотрон

До комплексу обладнання для плазмово-дугового різання входять: різак (плазмотрон), пульт керування, джерело живлення дуги, балони з плазмоутворюючими газами, механізм для переміщення плазмотрона вздовж лінії різання (рис. 21.3 в).

Різак складається з електродного та соплового вузлів. Плазмотрони бувають з осью і вихровою подачею газів для стискання дуги. Осьова подача плазмоутворюючого газу використовується в широких соплах. При вихровій подачі газ вводять 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 переміщення в стовпі дуги й рівномірність газової оболонки навколо стовпа.

При осьовій 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 є змінні газові катоди.

Для охолодження плазмотронів використовують воду, а в плазмотронах невеликої потужності — стиснене повітря. Використовують також ріжучі плазмотрони з плівковими катодами. Здатність утворювати плівку на катоді мають цирконій і гафній. Такий катод може тривалий час працювати в окиснювальному середовищі, наприклад, у стисненому повітрі.

Інтенсивність спрацювання катодних вставок та електродів залежить від сили робочого струму. Тривалість роботи катода не перевищує 4–6 год. Велике значення має конструкція сопла. Чим менший діаметр сопла і більша його довжина, тим вища концентрація енергії. Але діаметр і довжина сопла зумовлені силою робочого струму і витратами газів. Якщо діаметр сопла дуже малий або довжина його дуже велика, то можливе виникнення подвійної дуги, при якій ріжуча дуга розпадається на дві частини. Одна дуга горить між катодом і внутрішньою поверхньою 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 кромки забруднюється і підплавлюється. Щоб уникнути подвійної дуги необхідно плавно збільшити робочий струм. Це досягається магнітними, тиристорними та іншими пристроями.

Для плазово-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 плазово-дугового різання повинна відповідати ГОСТу 12221-71: Плр — для ручного різання; Плрм — для ручного і машинного різання; Плм — для машинного різання; Плмт — для машинного точкового різання. Технічні дані апаратів для плазово-дугового різання наведено в табл. 21.12.

Таблиця 21.12

**Технічні дані апаратів плазово-дугового різання**

Тип апарата	Максимальна товщина металу, мм	Максимальна сила струму, А	Робочий газ	Напруга холостого ходу, В	Швидкість різання, м/хв	Охолодження
Плр-20/250	20	250	Аргон, азот, водень	90	1,0	Повітряне
Плр-50/250	50	250	Аргон, азот, водень	180	1,0	Повітряне
Плм-60/300	60	300	Повітря	300	4,0	Водяне
Плмт-50/400	50	400	Повітря та ін.	400		Водяне

Початок різання визначається моментом збудження ріжучої дуги. Відстань від торця наконечника до поверхні розрізуваного металу повинна бути в межах 3–10 мм. При різанні вуглецевих сталей

товщиною до 40–50 мм використовують стиснене повітря, для нержавіючих сталей товщиною до 20 мм — чистий азот, більше 20 мм і до 50 мм — суміш із 50% азоту і 50% водню. Різання алюмінію товщиною 5–20 мм виконують в азоті, а товщиною 20–150 мм — у суміші з 65% азоту і 35% водню або 68% азоту і 32% водню. При збільшенні кількості водню поверхня різа насичується ним. Для ручного різання вміст водню зменшують до 20%, що забезпечує стійкість горіння дуги при зміні її довжини. При зварюванні міді використовують аргон-водневу суміш, азот або повітря, а потужність дуги збільшують через високу теплопровідність міді. Швидкість різання латуні збільшують на 20–25% порівняно з різанням міді. При цьому використовують ті ж гази, що й для різання міді.

Режими плазового різання металів вказані в табл. 21.13 і 21.14.

Таблиця 21.13

**Параметри режиму плазового різання вуглецевих, легованих сталей і міді у середовищі повітря з водою**

Товщина металу, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість різання, м/год
4	270–290	140–145	425–450
6	270–290	140–145	180–210
8	270–290	140–145	100–180
10	270–290	140–145	130–150
12	270–290	140–145	110–130
14	270–290	150–155	97–110
16	270–290	155–160	85–97
18	270–290	160–165	70–85
20	290–310	165–170	60–72
24	290–310	170–175	45–60
30	290–310	180–185	36–42

Таблиця 21.14

**Режими механізованого мікроплазового 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>Корозієстійка сталь</i>							
0,7	1,5	1	20	120	3,5	—	55
2	0,9	1	20	120	2,5	—	55
3	0,9	1	20	120	2,5	—	42

### 21.7.1. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу

Розроблені сучасні установки для плазмового різання, в яких замість азоту і повітря використовують водопровідну воду. Вода подається між ріжучим соплом для 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.

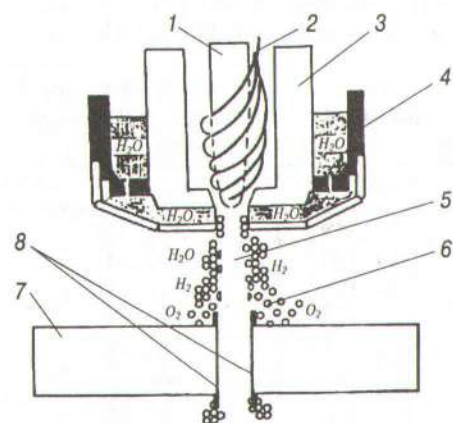


Рис. 21.4. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу:

1 — плазмовий електрод; 2 — плазмостворюючий газ (азот); 3 — ріжуче сопло; 4 — сопло захисного газу; 5 — плазмостворюючий газ плазми; 6 — вода в якості захисного газу; 7 — деталь; 8 — чисті зварювані 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	Плазмостворюючий газ	Витрати плазмостворюючого 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

Матеріал	Потужність, кВт						
	0,2				0,85		
	товщина, мм	ширина розрізу, мм	різальний газ	швидкість різання, м/год	товщина, мм	різальний газ	швидкість різання, м/год
Вуглецева сталь	1	0,1	O <sub>2</sub>	180	2,2	O <sub>2</sub>	105
	3	0,2	O <sub>2</sub>	30	2,2	O <sub>2</sub>	105
Корозієстійка сталь	1	0,1	O <sub>2</sub>	90	9	O <sub>2</sub>	22
	1	0,1	O <sub>2</sub>	90	5	O <sub>2</sub>	45
	1	0,1	O <sub>2</sub>	90	3	O <sub>2</sub>	45
Сплави титану	2	0,2	O <sub>2</sub>	1080	5	O <sub>2</sub>	200
	10	1,5	O <sub>2</sub>	170	5	O <sub>2</sub>	200
	40	3,5	O <sub>2</sub>	30	5	O <sub>2</sub>	200
Органічне скло	3	0,4	N <sub>2</sub>	270	32	Ar	18
	10	0,7	N <sub>2</sub>	50	32	Ar	18
Дерево	18	0,7	N <sub>2</sub>	12	5	Ar	220
	18	0,7	N <sub>2</sub>	12	14	Ar	90
Кераміка	—	—	—	—	6,5	Ar	40

### 21.8. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ

Електронно-променеве свердління отворів вперше було застосоване в 1938 р. М. фон Ардене (Німеччина). З 1960 р. почалося широке промислове використання установок для електронно-променевого свердління. Такі установки складаються з електронної гармати і джерела живлення, вакуумної камери (де й здійснюється свердління), системи відкачування повітря із камери, а також системи спостереження та керування.

Свердління отворів електронним променем є імпульсним, динамічним процесом. Утворення отворів проходить за рахунок інтенсивного кипіння металу, розплавленого електронним променем, і викидання розплавленого металу реакцією віддачі при випаровуванні.

Електронний промінь повинен мати різко окреслену форму і діаметр 0,01–0,2 мм при напрузі 60–150 кВ (густина потужності 10<sup>7</sup>–10<sup>9</sup> Вт/см<sup>2</sup>).

Існує два режими свердління отворів:

— моноімпульсний — отвір утворюється за один імпульс струму електронного променя (свердлять сталь товщиною 0,1–10 мм);

— багатоімпульсний — 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 свердлили 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, водолазне спорядження сковує рухи різальника, обмежена видимість. Для підводного різання застосовують електро-дугове різання плавкими покритими електродами (табл. 21.17), напівавтоматичне електро-кисневе тонким плавким електродом, плазмово-дугове, вибухом та ін.

Таблиця 21.17

Електроди для різання під водою

Марка електрода	Умовне позначення згідно з ГОСТом 9466-75 і ГОСТом 9467-75	Діаметр, мм	Зварювальний струм, А	Примітка
АНДР-1 (дослідний)	<i>АНДР-1-Ø</i> —	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)	<i>Э42-ЭПС-АН1-Ø-УД</i> <i>Е416-Р20</i>	3	110–140	Різання як під водою, так і в зоні змінного змочування. Електрод має гідроізоляційне покриття
		4	160–200	
		5	180–220	

При електродуговому різанні необхідно весь струмопідвід надійно ізолювати. Найчастіше різання виконують металевими плавкими електродами, які виготовляють з низьковуглецевих сталей діаметром 6–7 мм довжиною 350–400 мм, з покриттям товщиною 2 мм. Для захисту від води покриття 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 упирання.

Електро-кисневе різання виконують спеціальними трубчастими електродами 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 окиснює 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 осьовим каналом, у який вставляють мідну або кварцеву трубку. Для збільшення електропровідності та підвищення механічної міцності стрижні електродів покривають металевою оболонкою, на яку наносять водонепроникне покриття. Недоліком таких електродів є великий діаметр (15–18 мм). Використовують також карборундові електроди із сталевую 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.

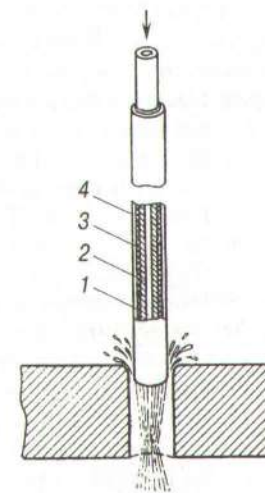


Рис. 21.5. Підводне киснево-дугове різання:

1 — канал для ріжучого кисню; 2 — сталевий трубчастий стрижень; 3 — електродне покриття; 4 — гідроізоляція

Для різання під водою вибухом використовують різачи, 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 огорожкою матеріалів, які розташовані біля місця різа.

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 різа при кисневому і плазмово-дуговому різанні?
13. Як виконують різання неплавкими електродами?
14. Які електроди використовують для повітряно-дугового різання?
15. Охарактеризуйте різачи 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.

## ЯКІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ. ЗВАРНІ ДЕФЕКТИ. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

### 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).

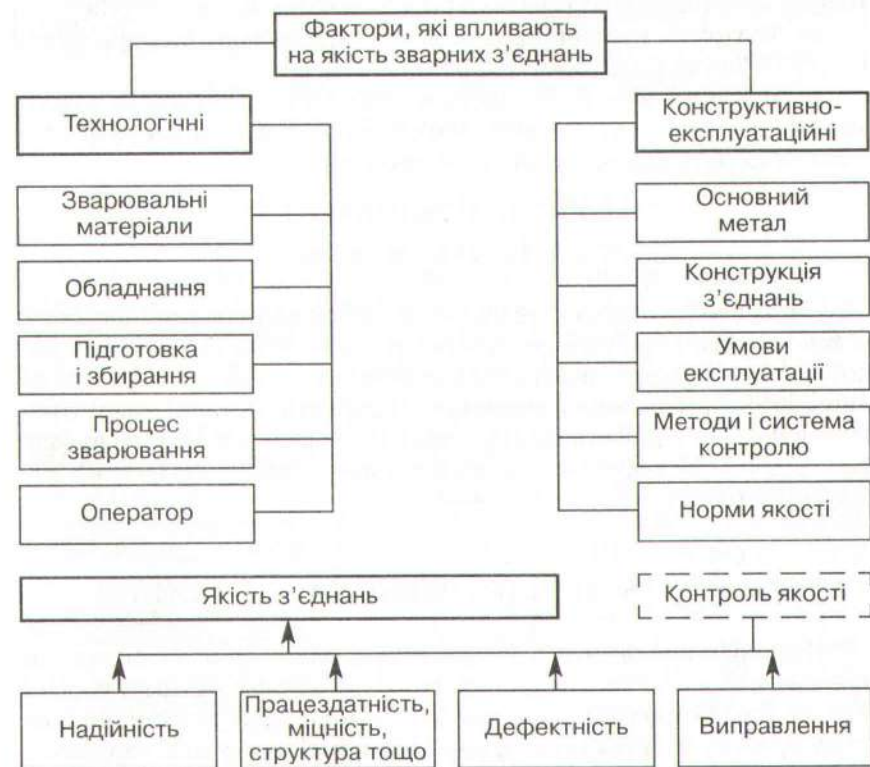


Рис. 22.1. Фактори, які впливають на якість зварних з'єднань

Згідно з прийнятою термінологією під надійністю розуміють властивості виробів виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих границях протягом певного проміжку часу згідно вимог. Це визначення відноситься до експлуатаційної надійності конструкції.

Управління якістю зварювання повинно передбачати контроль усіх факторів, від яких залежить якість продукції. На якість зварних з'єднань, які одержують при зварюванні, впливають багато факторів. Основні з них можна умовно згрупувати як технологічні й конструктивні (рис. 22.1).

**Оптимальна схема контролю в зварювальному виробництві:**

1. Контроль документації на стадії проекту — вибір конструкції й технології складання-зварювання; вибір основного металу, обґрунтування норм допустимих дефектів і плану контролю; вибір методів контролю і забезпечення дефектоскопії конструкцій;

2. Контроль технологічної підготовки виробництва — перевірка умов і якості підготовки до зварювання, складання, перевірка підготовки і зберігання вихідних матеріалів, дисципліни зварників;

3. Контроль готової продукції — раціональне використання існуючих методів і засобів контролю;

4. Перевірка якості контрольних операцій — перевірка дотримання режимів і чутливості дефектоскопії, контроль дефектоскопічних матеріалів, кваліфікації операторів.

### 22.1.1. Типи і види дефектів

Дефект — це кожна окрема невідповідність продукції вимогам, установленим нормативною документацією. У зварювальному виробництві прийнято розділяти дефекти підготовки та складання виробів під зварювання й зварювальні дефекти. Останні можуть бути зовнішніми (дефекти форми швів), поверхневими і внутрішніми. Внутрішні — це дефекти нещільності (макроскопічні дефекти), або дефекти структури.

## 22.2. ДЕФЕКТИ ПІДГОТОВКИ ТА СКЛАДАННЯ

Найхарактернішими дефектами при підготовці та складанні зварних виробів є: неправильний кут зрізу кромки у швах з V-, U- і X-подібною розробкою; дуже велике чи мале притуплення по довжині кромки, що стикаються; нерівномірний зазор між кромками; неспівпадання площин кромки, які стикаються; розшарування і забруднення на кромках і т. п.

Причинами цих дефектів можуть бути несправності верстатів для виготовлення заготовок і пристосувань для збирання; неякісні вихідні матеріали, помилка в кресленнях, а також низька кваліфікація зварника. Правильність складання контролюють зовнішнім оглядом і вимірюванням за допомогою шаблонів та інструментів.

## 22.3. КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ЗА ТИПАМИ Й ВИДАМИ

Всеохоплюючу класифікацію зварних дефектів виконують за їх типами, що пов'язані з геометричними ознаками і масовістю (рис. 22.2).



Рис. 22.2. Типи дефектів

## 22.4. ЗОВНІШНІ ДЕФЕКТИ

Форма та розміри швів залежать від товщини матеріалу, який зварюється. Їх задають технічними умовами і вказують на кресленнях. При зварюванні плавленням як правило регламентують: ширину шва  $l$ , висоту посилення шва  $h_1$  проплавлення  $h_1$  (рис. 22.3 а).



Рис. 22.3. Конструктивні схеми швів: а — стикового; б — кутового

Для таврових і напусткових з'єднань регламентують катет шва  $k$ , висоту робочого січення  $h$  (рис. 22.3 б). Шви можуть мати нерівномірну ширину за довжиною, нерівномірну висоту, напливи, підрізи-сідловини, нерівномірну величину катетів у кутових швах і з'єднаннях.

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 знижувати 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, свищі 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 кромek проплавляється глибше, метал стікає на горизонтально розташовану деталь і його не вистачає для заповнення канавки.

У стикових швах підрізи утворюються рідше. Часто при підвищеній напрузі дуги і великій швидкості зварювання утворюються двобічні підрізи. Такі підрізи утворюються й у випадку збільшення кута розробки при автоматичному зварюванні.

Однобічні підрізи можуть спричинювати зміщення електрода з осі стику і неправильне ведення електрода, особливо при зварюванні горизонтальних швів на вертикальній площині.



Рис. 22.4. Дефекти зварних швів:  
а — підріз; б — наплив

**Напливи** — дефекти зварного з'єднання, які утворюються при натіканні металу шва на основний метал, але з ним не сплавається (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 напливів викликається неправильним розташуванням електрода відносно zenіту. Напливи можуть мати невелику довжину або бути протяжними.

**Пропали** — дефекти зварювання, які проявляються витіканням металу зварної ванни через отвір у шві з утворенням у ньому порожнини (рис. 22.5).

Причиною виникнення пропалу може бути велика сила зварювального струму, збільшення зазору між кромками, недостатня товщина підкладної стрічки або її нещільне прилягання. При зварюванні поворотних кільцевих швів появи пропалів сприяє зміщення електрода від zenіту 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 заварені заново.

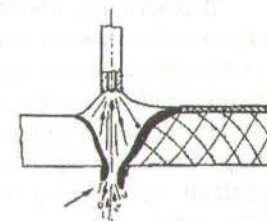


Рис. 22.5.  
Пропал

**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 заварені. У випадках механізованих видів зварювання застосовують вивідні планки, на яких закінчують шви. Потім планки з кінцями швів і кратерами на них видаляють. В електричних схемах автоматів передбачають такі елементи, які забезпечують можливість автоматичного заварювання кратера.

**Свищі** — дефекти у вигляді порожнин у зварних швах, які виходять на їх поверхню (рис. 22.7).

Свищі, як правило, розвиваються з каналних пор. Значна кількість поверхневих дефектів сигналізує також про наявність внутрішніх дефектів.

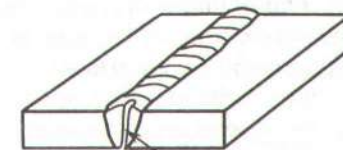


Рис. 22.7. Свищ

## 22.5. ВНУТРІШНІ ДЕФЕКТИ

Утворення внутрішніх дефектів при зварюванні пов'язано з металургійними, термічними та гідродинамічними явищами, які проходять при формуванні зварного шва.

До внутрішніх дефектів відносяться тріщини (гарячі й холодні), непровари, пори, шлакові, вольфрамові та оксидні включення.

**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 крихкі руйнування проходять майже миттєво й дуже небезпечні.

Залежно від температури, при якій вони виникають, розрізняють гарячі та холодні тріщини.

**Гарячі тріщини** — це руйнування металу, який кристалізується і проходить по рідких прошарках під дією напружень розтягу (рис. 22.8). Ці напруження проявляються внаслідок примусової усадки металу шва і нерівномірного нагрівання ділянок основного металу, який прилягає до нього.

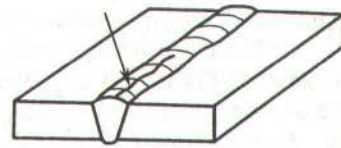


Рис. 22.8. Поздовжня гаряча тріщина

Утворення гарячих тріщин пов'язане із спільною дією двох факторів. По мірі кристалізації скорочується кількість рідкої фази, що призводить до зменшення деформаційної властивості сплаву. Крім того в температурному інтервалі крихкості пластичні властивості сплаву найнижчі.

Кристалізаційні тріщини утворюються, якщо пластична деформація за час перебування металу в температурному інтервалі крихкості пройде в ньому пластичність сплаву. Для гарячих тріщин характерним є мікрокристалізаційний вид руйнування, який розвивається по межах зерен при наявності між ними рідкого прошарку, або ж за рахунок проковзування між зернами, яке проходить при підвищених температурах після закінчення процесу кристалізації.

Гарячі тріщини можуть виникнути як в основному, так і в металі зони термічного впливу. Вони бувають поздовжніми, поперечними, поздовжні з поперечними розгалуженнями, можуть виходити на поверхню або залишатися схованими. Можливість утворення гарячих тріщин залежить від хімічного складу металу шва, швидкості наростання та величини напруження розтягу, форми зварювальної ванни й шва, розміру первинних кристалітів. Вона збільшується з підвищенням у металі шва вуглецю, кремнію, нікелю, шкідливих домішок сірки та фосфору. Стійкість зварних швів проти утворення гарячих тріщин підвищують марганець, хром, частково кисень, а також зниження величини і швидкості наростання розтягуючих зусиль. Останнє досягається зменшенням жорсткості вузлів,

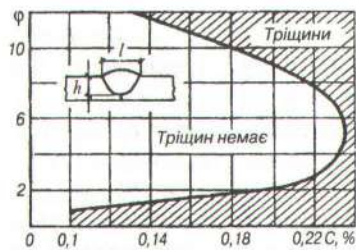


Рис. 22.9. Вплив коефіцієнта форми шва  $\psi = \frac{l}{h}$  і вмісту вуглецю  $C$  на можливість утворення тріщин

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.

**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 пластичності металу. Тому холодні тріщини виникають як при температурах розпаду залишкового аустеніту ( $120^{\circ}\text{C}$  і нижче), так і при кімнатній температурі через декілька хвилин, а часом і через більш тривалий термін після закінчення зварювання. Високі внутрішні напруги можуть також розвиватися внаслідок адсорбції розчиненого в металі водню на поверхнях внутрішніх дефектів і накопичення його в мікронещільностях. 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.

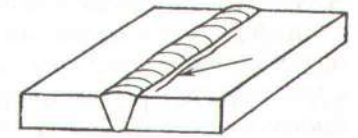


Рис. 22.10. Холодні тріщини в біляшовній зоні

**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 оксидними 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 розтріскування.

Непровари можуть бути викликані багатьма причинами: малим кутом розкриття кромок, малим зазором, великим притупленням при недостатній силі струму, великою силою струму зварювання, зміщенням електрода від осі шва, особливо при зварюванні двобічних

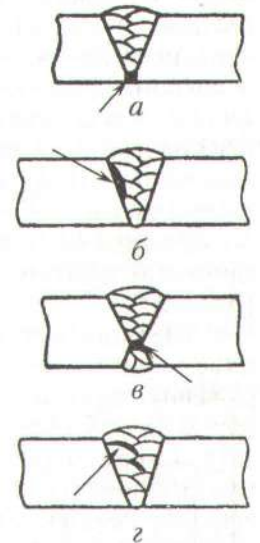


Рис. 22.11. Непровари:

*a* — в корені одnobічного стикового шва; *b* — по кромці між основним і наплавленим металом; *v* — у корені двобічного шва; *z* — між шарами

швів, недостатнім очищенням шлаку перед накладанням наступних шарів, порошкоподібним матеріалом при зменшеній силі струму і великій швидкості зварювання, низькій кваліфікації зварника.

Непровари є дуже небезпечними дефектами зварювання.

**Пори** — це порожнини в металі шва, заповнені газами. Вони мають сферичну або близьку до неї форму. В зварних швах вуглецевих сталей пори часто мають трубчасту форму. Почергово, виникаючи в рідкому металі за рахунок інтенсивного газоутворення, деякі бульбашки газу встигають підійнятись на поверхню і вийти в атмосферу. Частина з них залишається в металі шва. Розміри таких пор коливаються від мікроскопічних до 2–3 мм у діаметрі і за рахунок дифузії газів (у першу чергу водню) можуть рости. Утворюються раковини (порожнини неправильної форми і більших, 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 скупчень (рис. 22.12).

До основних причин, які викликають появу пор відносяться: погане очищення зварних кромek 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 покриттів, 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 кромek і при багатшаровому 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.

**Вольфрамкові включення** можуть появлятися в металі зварного шва при аргонодуговому зварюванні неплавким електродом (наприклад, алюмінієвих сплавів), у яких вольфрам не розчиняється.

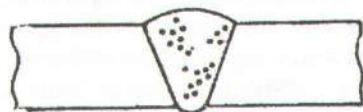


Рис. 22.12. Пори

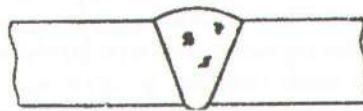


Рис. 22.13. Шлакові включення

Частинки вольфраму, які потрапляють внаслідок нестабільності режиму в розплавлену зварювальну ванну, звичайно занурюються в неї через велику щільність. На рентгенівських знімках вольфрамкові включення виглядають як ізольовані або групові видимі світлі плями неправильної форми.

**Оксидні включення** можуть виникати в металі зварних швів при наявності труднорозчинних оксидів, наприклад  $Al_2O_3$  при великих швидкостях кристалізації шва. Розташовуючись у вигляді плівок, вони утворюють у металі шва 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 контрольованим об'єктом;
- за первинними інформативними параметрами, розглянутих 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), течеощукач.

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 переатестації.

## 22.7. КОНТРОЛЬ ЗОВНІШНІМ ОГЛЯДОМ ТА ОБМІРОМ

### 22.7.1. Контроль вихідних матеріалів, складання та процесі зварювання

Частина дефектів зварних швів виникає в результаті застосування недостатньо якісних вихідних матеріалів (основних і зварювальних), порушення вимог щодо складання під зварювання, технологію його виконання. Запобігти появі таких дефектів допомагає попередній і поопераційний контроль, який виконується методом зовнішнього огляду і перевіркою відповідності розмірів.

До вихідних матеріалів належить і основний метал, з якого збирають конструкції, зварювальні електроди, дроти, флюс і захисні гази.

У литих виробках, металопрокати перевіряють наявність сертифікату, заводського маркування і відповідність їх проекту. Зовнішнім оглядом установлюють наявність раковин, розшарувань, тріщин, у трубі — якість скосу кромки, 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 сталю плити з висоти 1 м і 0,5 м відповідно. Можуть допускатися часткові відколи 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 розбризкування, 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 оксидні) 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 розбризкування, легкість відділення шлаку, утворення пор, так як і при перевірці електродів.

**Зварювальний флюс** контролюють методом перевірки грануляції й технологічної проби, яка дозволяє, як і у випадку перевірки електродів і зварювального дроту, визначити за зовнішнім оглядом шва і його зламу якість формування, поро- і шлакоутворення,

відділення шлаку. При зварюванні відповідальних конструкцій флюс перед роботою перевіряють на гранулоутворюючий склад, однорідність, насипну щільність і забрудненість. При вологості понад 0,1% флюс просушують.

**Захисні гази (вуглекислий газ, аргон)** при наявності сертифікатів заводу-виготівника піддають контролю тільки в тому випадку, коли у зварних швах, виконаних з їх використанням, виявляють недопустимі дефекти.

Зібрані під зварювання деталі перевіряють на відповідність вимогам технології та проекту. За допомогою спеціальних шаблонів і лінійок перевіряють якість зрізу кромки (рівномірність і величину кута розкриття, відсутність місцевих вириків), наявність і величину притуплення, перевищення кромки, величину й рівномірність зазору. Особливу увагу приділяють перевірці чистоти поверхонь кромки і зони, яка прилягає, зачищенню 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. Правильність режиму зварювання контролюють за зовнішнім виглядом зварного шва, перевіряють ефективність газового захисту. Після зварювання кореневих швів і зачищення їх від шлаку, контроль за допомогою лупи може своєчасно виявити появу тріщин. З цією метою використовують і пошарову перевірку при зварюванні багатопрохідних швів, особливо зварюванні спецсталей. На цьому етапі дуже важливим є самоконтроль, який безпосередньо виконує зварник. Він перевіряє стабільність підтримання режиму, що особливо важливо у випадку механізованого зварювання; оглядає кратери, які утворюються при закінченні горіння електрода або при вимушеній зупинці процесу.

### 22.7.3. Готові зварні вироби

Огляд і обмірювання готового виробу є першочерговим і важливим етапом приймального контролю. Найперше оглядають зварні шви і поверхню виробу в зоні термічного впливу. Зовнішній огляд дозволяє знайти такі зовнішні дефекти: подрізи, поверхневі

пори та свищі, напливи, пропали, незаварені кратери, тріщини, які виходять на поверхню, а також непровари (у випадку двобічного доступу до зварного з'єднання). При огляді попередньо очищеної від шлаку і бризок поверхні швів і біляшовних зон застосовують лупи 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 непроникність для рідин і газів. Нещільності зварних з'єднань спричинюють втрату продуктів і небезпеку зараження довкілля. Слід зауважити, що токсичні продукти знищують корозійну стійкість зварних швів, створюють інші порушення, негативно впливають на роботу зварних конструкцій. Якщо до зварних з'єднань ставляться вимоги непроникності 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, витримка 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 круглим 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 плюсових 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, пневмогідравлічним 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 пензликом 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	—
Корінь солодки (лакриці)	—	—	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 пневмогідравлічним методом** проводять шляхом занурення посудини в індикаторну рідину і подачі контрольного газу. Дефекти визначають за появою бульбашок.

Випробування вакуумуванням проводять за допомогою вакуумних камер (рис. 22.14).

Камера складається з листового оргскла (наприклад, прямокутної форми), з одного боку якого за периметром приклеєна губчаста гума, яка є ущільнювачем. В оргсклі є отвір, через який за допомогою шлангів 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 крейдою або фарбою. Триходовим краном упускають атмосферне повітря в порожнину камери, знімають і переміщують її на сусідню

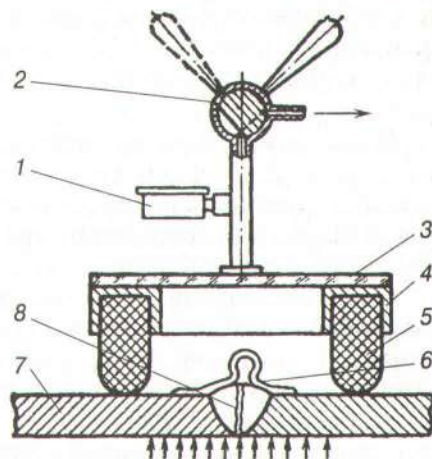


Рис. 22.14. Схема контролю переносною вакуум-камерою:

1 — вакуумметр; 2 — триходовий кран; 3 — плексиглас; 4 — рамка; 5 — губчаста гума; 6 — мильна бульбашка; 7 — контрольований виріб; 8 — дефект зварного шва

ділянку. Послідовно пересуваючи камеру, можна випробувати шви будь-якої довжини. В інституті зварювання ім. Є. 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 гасом.** Відомо, що гас має особливі властивості (неполярність, висока змочувальна властивість, відносно мала в'язкість), які забезпечують високу чуттєвість контролю. Крім того контроль відрізняється простотою й доступністю, не вимагає складного обладнання та дефіцитних матеріалів. Розрізняють чотири способи випробування гасом: газовий, гасопневматичний, гасо-вакуумний і гасовібраційний.

При *гасовому способі* на зварне з'єднання, очищене від шлаку та інших забруднень, наносять тонкий шар крейдианої суспензії за допомогою пульверизатора. Крейдиану суспензію виготовляють із розрахунку 350–450 г меленої просіяної крейди або каоліну на 1 л води або розчинника (взимку). Після висихання суспензії

протилегний бік зварного шва багаторазово (5–15) змочують гасом. У місцях суцільних дефектів на крейдианій 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 гасу додавати фарбу «Судан III» із розрахунку 2,5–3 г на 1 л. Фарба зафарбовує гас у червоно-ліловий колір. Для контролю напукоткових з'єднань гас подають у зазор під тиском не менше 0,15 МПа.

*Гасопневматичний і гасовакуумний способи* підвищують продуктивність і чутливість методу випробування гасом. У першому випадку змочені шви обдувають з боку гасу стиснутим повітрям при тиску не менше 0,3–0,4 МПа. Це прискорює проникнення гасу і підвищує виявлення дефектів. В іншому випадку на покриті крейдианою суспензією з'єднання встановлюють вакуумну камеру і створюють розрідження, яке сприяє проникненню гасу через дефекти.

*Гасовібраційний спосіб* відрізняється тим, що зварні з'єднання обприскують гасом у процесі вібрації.

Випробування гасом застосовують й у випадку, коли до зварних швів є тільки односторонній доступ. Зварні шви очищають від забруднень, витирають, потім змочують 3–4 рази зафарбованим гасом, який через 15–20 хв видаляють з поверхні шва (протирають або промивають 5%-вим водним розчином кальцінованої соди). Висушену поверхню зварного з'єднання покривають з пульверизатора тонким шаром крейдианої суспензії та висушують гарячим повітрям. Потім у місцях дефектів з'являються плями гасу, який виходить на поверхню із дефектних місць.

## 22.9. ХІМІЧНИЙ МЕТОД

Основою 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-кислої 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 течешукача. Розрізняють два способи галоїдного контролю: вакуумування і спосіб щупа. Відповідно до цього галоїдні течешукачі мають два типи датчиків: атмосферний, вакуумний. Атмосферний датчик складається з платиного аноду — емітера та колектора. Анод — це керамічний стержень, на який намотано спіраль; він поміщений усередину трубчатого колектора. Проміжок між колектором і емітером заповнений атмосферним повітрям. У вакуумному датчику цей проміжок вакуумується, а сам датчик додатково комплектується інжектором.

**При контролі способом щупа** з 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 переміщують щуп датчика галоїдного течешукача по поверхні зварних з'єднань. При наявності течей фреон просочується через них назовні й засмоктується в трубку датчика вентилятором, який у ньому є. При роботі течешукача платиновий емітер нагрівається до температури 800–900°C, випускає позитивні іони, які під дією прикладеної між анодом і колектором напруги 200–250 В переміщуються на від'ємно заряджений колектор. Виникає іонний струм. Іони галоїдного газу мають високий від'ємний потенціал. Потрапляючи у проміжок між емітером і колектором, вони посилюють іонний струм, який реєструється приладом із стрілкою і звуковим індикатором — телефоном. Вплив іонів галоїдів посилюється, якщо на емітері є лужні елементи. Таку ж дію має й кисень, який при роботі у вакуумі подають у трубку щупа за допомогою інжектора.

**При вакуумному способі** з'єднання з одного боку обдувають контрольним газом, з іншого перевіряють вакуумним датчиком.

У якості контрольних газів використовують хлористий вуглець, фреон та інші галоїди в чистому вигляді або в суміші з повітрям, азотом. Найчастіше використовують фреон, тому що він неотруйний і дешевий.

## 22.11. КОНТРОЛЬ КАПІЛЯРНИМ МЕТОДОМ

Капілярний метод контролю використовують для виявлення поверхневих дефектів зварних з'єднань (мікротріщин і тріщин), які виходять на поверхню виробу; дрібних поверхневих пор і вузьких непроварів, які важко виявити при зовнішньому огляді.

Цей метод особливо важливий для контролю відповідальних зварних з'єднань аустенітних, нержавіючих, жароміцних і жаро-

стійких сталей, алюмінію, латуні, властивості яких обмежують можливість використання інших методів контролю.

Розміри поверхневих дефектів — мікроскопічне розкриття і макроскопічна протяжність, надають їм властивостей капілярів. Тому й метод контролю, якими виявляються ці дефекти, називають капілярними.

Розрізняють три методи капілярного контролю: люмінесцентний, метод фарб (кольоровий) і люмінесцентно-кольоровий.

В основі **капілярної дефектоскопії** лежить зміна контрастності зображення поверхневих дефектів і фону, на якому вони виявляються, за допомогою спеціальних світло- і кольороконтрастних індикаторних рідин — пенетрантів. Їх наносять на попередньо очищену поверхню шва, витримують деякий час, видаляють надлишок рідини і наносять проявляючу суміш. Індикаторна рідина, що залишилася в дефектах, утворює на фоні проявника рисунок, за яким роблять висновок про наявність дефекту (рис. 22.15).

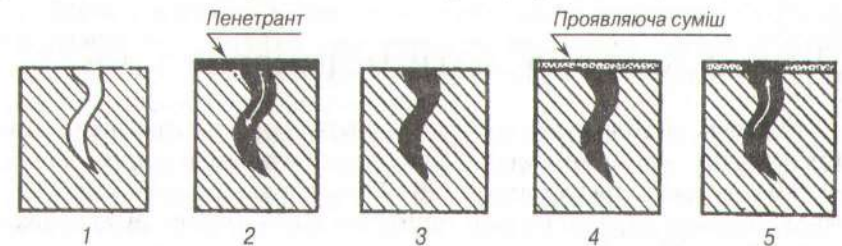


Рис. 22.15. Основні етапи контролю капілярними методами:

1 — очищення від забруднень; 2 — нанесення пенетрантів; 3 — видалення пенетранту з поверхні; 4 — нанесення проявляючої суміші; 5 — виявлення дефектів

**При люмінесцентному методі** контролю до складу індикаторних рідин вводять спеціальні речовини, які при подальшому освітленні чи опроміненні ультрафіолетовими променями самі стають джерелом випромінювання.

Контроль полягає в очищенні поверхні від забруднень, нанесенні індикаторної рідини, витримуванні, видаленні надлишку рідини з поверхні виробу, сушінні підігрітим повітрям до 50–60°C, нанесенні проявляючої суміші і виявленні дефектів шляхом огляду в ультрафіолетових променях або при природному освітленні.

Найпоширеніші індикаторні рідини — пенетранти, які одержують на основі гасу:

№1. Гасу — 64, 5, норіолу — 25, бензину — 10 і 0, 5 емульгатору ОП-10 (або ОП-7);

№2. Гасу — 84, 5, авіаційного масла — 15 і 0, 5 емульгатору ОП-10 (або ОП-7);

№3. Гасу — 50, бензину — 25, трансформаторного масла — 24,97 і 0, 03 зелено-золотистого дефектолю.

У якості очисника для видалення індикаторної рідини використовують воду під тиском. Залишки люмінесцентних речовин нейтралізують. При їдкому сорбційному способі проявлення використовують порошки тальку, вуглекислого магнію, силікагелю. Джерелами ультрафіолетових променів є ртутно-кварцеві лампи різних марок, а також комплекти типу ДАК-211.

Контроль методом фарб проводять за допомогою індикаторних рідин, до яких вводять спеціальні фарбники. Технологія контролю аналогічна люмінесцентному методу. Використовують індикаторну фарбу «К» і проявник — біла фарба «М» та ін.

Люмінесцентно-кольоровий метод контролю є поєднанням люмінесцентного і кольорового методів контролю. Він відрізняється тим, що індикаторні сліди не тільки 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 глибині до 20–25 мм), а також дрібні дефекти основного металу. Дані методи ґрунтуються на реєстрації та аналізі магнітних полів розсіювання, які виникають у місцях розташування дефектів. Найчастіше застосовують магнітопорошковий і магнітографічний способи. Магнітний потік ( $\Phi$ ) 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

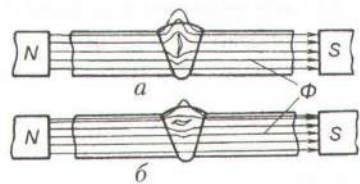


Рис. 22.17. Поле розсіювання над дефектами, розташованими перпендикулярно (а) і вздовж (б) магнітного потоку

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 кромek дефектів; і над місцями, де вони розташовані, якщо дефекти поверхневі.

Застосовують порошки чорного або цегляно-червоного кольору (порошки технічного і синтетичного магнетиту, порошок феромагнітного оксиду заліза, розмелену окалину). Використовують також магніто-люмінесцентні порошки.

Контроль магнітопорошковим методом проводиться сухим і мокрим способами. При сухому — за допомогою пульверизатора або сита напилують сухий порошок, а для кращого прилягання порошку над дефектом використовують суспензії магнітних частинок у рідині — мокрий спосіб. Перед застосуванням магнітопорошкового методу зварну конструкцію намагнічують за допомогою постійного магніту або шляхом пропускання електричного струму (постійного, змінного, імпульсного).

Магнітопорошковий метод контролю здійснюється за допомогою стаціонарних, пересувних і переносних дефектоскопів. Для монтажних 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 пасом; вироби 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.

Індикація контролю як імпульсу, так і відео проводиться відразу ж після запису полів 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 спрацьовують за максимальним сигналом.

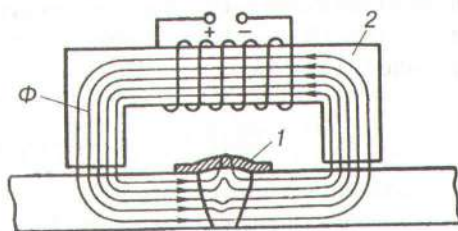


Рис. 22.18. Схема проведення магнітографічного контролю:

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 непровари), високі техніко-економічні показники. Апаратура для контролю — портативна та надійна.

Для виявлення дефектів у зварному з'єднанні в основному застосовують три методи ультразвукового контролю: ехо-імпульсний метод, тіньовий і дзеркально-тіньовий.

**Ехо-імпульсний метод** (рис. 22.19 а) здійснюється шляхом введення у виріб імпульсу ультразвуку і прийому відображеного від дефекта ехо-сигналу, який є ознакою наявності нещільності. За відрізком часу між вказаними імпульсами роблять висновки про глибину залягання 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) — про наявність дефекту роблять висновок за зменшенням амплітуди ехо-сигналу, відображеного від протилежної донної поверхні виробу і ослабленого наявними нещільностями.

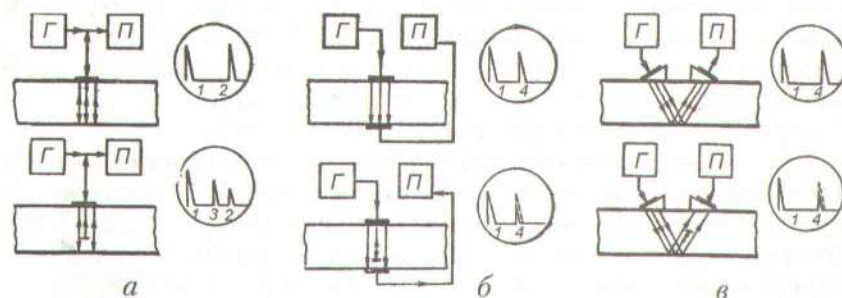


Рис. 22.19. Схема ультразвукового контролю ехо-імпульсним (а), тіньовим (б) і дзеркально-тіньовим (в) методами

Найчастіше застосовують високочутливий ехо-імпульсний метод, у якому поєднуються шукач і функції випромінювача та приймача.

Ультразвуковий контроль ґрунтується на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від поверхні поділу двох середовищ. У дефектоскопії застосовують п'єзоелектричний 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 коливанням п'єзопластин 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 електророзвовкі 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 з'єднанні у вигляді піку на екрані осцилографа.

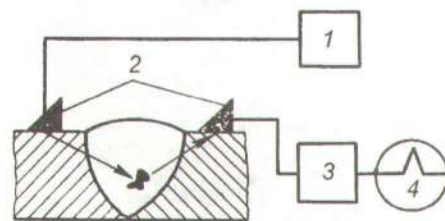


Рис. 22.20. Ультразвуковий контроль:

1 — зондувальний імпульс; 2 — донний імпульс; 3 — імпульс від дефекта; 4 — імпульс ультразвукових коливань, які пройшли контрольований виріб

## 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 реєструючий пристрій (детектор).

Залежно від способу реєстрації результатів (способів детектування) розрізняють три методи радіаційного контролю: радіографічний, радіоскопічний і радіометричний.

На монтажі найчастіше застосовують **радіографічний метод**, бо радіографічний знімок є документальним підтвердженням якості зварного з'єднання. Апаратура має невелику масу, компактна й мобільна, що дає можливість використовувати її при різних обставинах.

Радіоскопічний і радіометричний методи дають можливість автоматизувати процес контролю, але через громіздку апаратуру застосовується тільки в заводських умовах. При радіаційних методах необхідно забезпечити радіаційну безпеку обслуговуючого персоналу і оточуючих.

Виявлення дефектів при радіаційному просвічуванні ґрунтується на різному поглинанні рентгенівського чи гама-випромінювання ділянками металу з дефектами чи без них. Зварні з'єднання просвічуються спеціальними апаратами.

З одного боку шва на деякій віддалі від нього розміщуються джерела випромінювання, з протилежного боку щільно притискають касету з чутливою плівкою (рис. 22.21). При просвічуванні випромінювання проходить через зварне з'єднання і опромінює плівку. В місцях, де є пори, шлакові включення, непровари, крупні тріщини на плівці утворюються темні плями. Вигляд і розміри дефектів визначають порівнянням плівки з еталонними знімками.

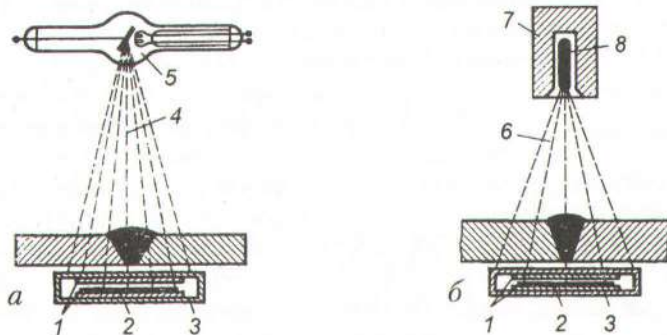


Рис. 22.21. Схема просвічувача зварних швів:

а — рентгенівським випромінюванням; б — гама-випромінюванням; 1 — підсилювальний екран; 2 — рентгенівська плівка; 3 — касета; 4 — рентгенівське випромінювання; 5 — рентгенівська трубка; 6 — гама-випромінювання; 7 — свинцевий кожух; 8 — ампула радіоактивної речовини

Просвічування не дозволяє виявити тріщини, якщо вони розміщені не в напрямі центрального променя (кут більше  $5^\circ$ ), а також непровари у вигляді злипання зварювальних металів без газового чи шлакового прошарку. Цим способом визначають дефекти в металі 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, тулій-170, іридій-122 та ін.

Ампулу з радіоактивними ізотопами вміщують у свинцевий контейнер. Техніка просвічування аналогічна до рентгенівського. Різниця в більшій жорсткості та меншій довжині хвиль, які проникають у метал глибше і просвічують метал товщиною до 300 мм. Апаратура портативна, можна використовувати в будь-яких умовах, дешева; недолік — менша чутливість, неможливість регулювання інтенсивності випромінювання (в рентгенівських апаратах регулюється напругою, яка підводиться). Гама-випромінювання дуже небезпечно 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 спецсталей), а також при перевірці кваліфікації зварників чи при їх переатестації.

Механічні випробування зварних з'єднань за характером прикладання навантажень у часі можна поділити на три основні види:

— статичні випробування, які здійснюються шляхом поступового збільшення навантаження навіть до повного його руйнування; імітує роботу зварних з'єднань при постійному навантаженні;

— динамічні випробування, при яких зусилля зростає миттєво і діє майже миттєво. Вони характерні для з'єднань, які працюють в умовах швидкозростаючих навантажень (ударів);

— випробування на втомлюваність, при яких навантаження миттєво змінюється за 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 надрізаних зразках);
- на стійкість проти механічного старіння;
- на статистичний розтяг зварного з'єднання;
- на статистичний згин (загин зварного з'єднання);
- на ударний розрив зварного з'єднання.

Крім того, вони передбачають вимірювання твердості металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу. Випробування проводять на зразках, які вирізаються безпосередньо з контрольованих виробів, наприклад, із стиків трубопроводів або з контрольних з'єднань, які спеціально зварюються.

При цьому необхідно використовувати ті ж зварювальні матеріали й основний метал, режим зварювання і термообробки, тих же зварників.

Вирізування заготовок для зразків необхідно, по можливості, проводити на металорізальних верстатах, щоб не змінювалась структура металу.

До початку випробувань на всі зразки (поза їх робочою зоною) ставиться клеймо, яке зберігається після випробувань.

### 22.15.1. Статичні випробування

**Випробування на розтяг** є одними з найпоширеніших, тому що дають можливість порівняно точно оцінити поведінку металу й при інших видах навантажень. Цей вид випробувань передбачається для більшої частини відповідальних зварних конструкцій, є відносно простим і легким у виконанні (рис. 22.22).

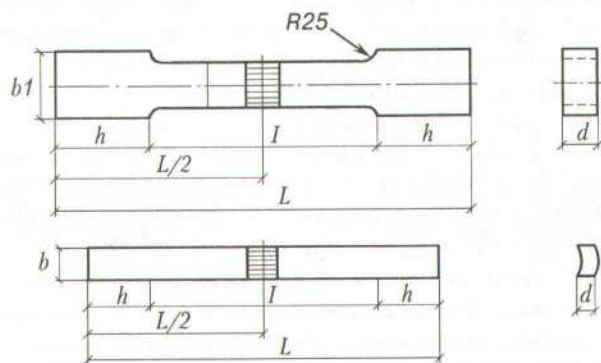


Рис. 22.22. Зразок для випробування на розтяг

При випробуванні на статичний (короткочасний) розтяг можна визначити: границю текучості металу (різна або умовна), тимчасовий опір, відносне видовження і 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, напусткових) проводять значно рідше, оскільки досить 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 односторонньому 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 діаметра з поздовжніми та поперечними швами. Випробування проводять на пресі шляхом деформації зразка стискуючим навантаженням. Результати випробувань характеризуються величиною просвіту між стиснутими поверхнями при утворенні першої тріщини (рис. 22.24).

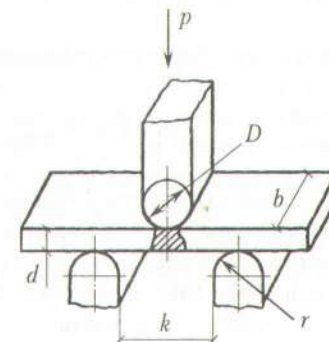


Рис. 22.23. Схема випробування на статичний згин: D — діаметр пуансона

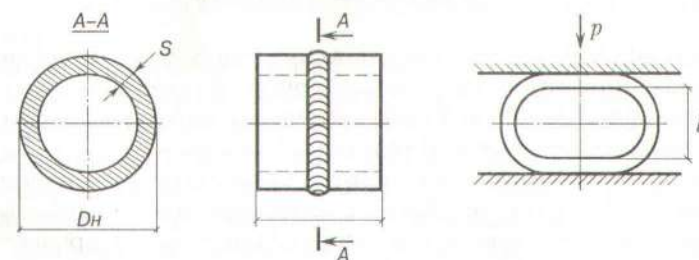


Рис. 22.24. Зразок і схема випробування на зминання

### 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 відносній простоті виконання і точності результатів є найпоширенішим (рис. 22.25). При цих випробуваннях визначають ударну в'язкість шва, різних ділянок біляшовної зони і наплавленого матеріалу.

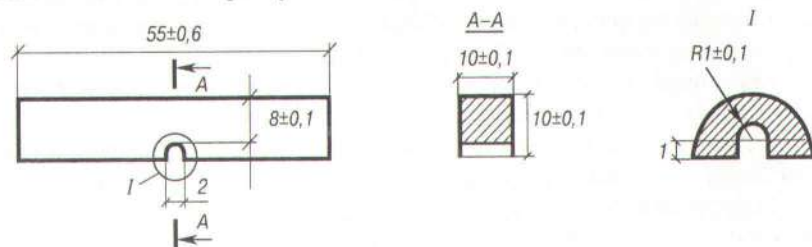


Рис. 22.25. Зразок для випробування на ударний згин

### 22.15.3. Випробування на втомлюваність

Різні структури і механічні властивості зварних швів, зони термічного впливу під впливом перемінних навантажень можуть призвести до утворення мікротріщин, а потім і до руйнування зварного з'єднання. Таке руйнування називають втомлювальне, а стан металу при цьому — втомлюваність. Зразок зварного з'єднання піддають дії перемінних навантажень — розтягу, стиску, згину, крученню 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. Відповідно 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 зруйнувалися при випробуваннях різних видів. 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 сірий злом із матовою поверхнею. Це свідчить про наявність більш сприятливих дрібнозернистих структур.

При крихкому руйнуванні зміна розмірів зразків незначна, злом має блискучий кристалічний вигляд, метал відрізняється крупнозернистою структурою з низькими пластичними властивостями.

Зразки руйнуються у місцях наявності дефектів, які легко виявляються на зломі. Пори виглядають як круглі або витягнуті пустоти з гладкими стінками. Гарячі тріщини характеризуються темною окисненою поверхнею; поверхня металу 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 нещільностей у вигляді непроварів, тріщин, пор та інших дефектів.

При макродослідженнях можна виявити ділянки хімічної неоднорідності, ліквіційні зони, усадкову пористість, форму, розміри й напрям росту кристалітів.

Макроаналіз проводять на спеціально заготовлених зразках-макрошліфах. Для приготування шліфів із зварних з'єднань вирізують плоскі заготовки — темплети. Вирізування виконують упоперек чи по площині зварного шва так, щоб у них входили всі ділянки з'єднання: наплавлений метал, зона сплавлення й термічного впливу, основний метал. Досліджувану поверхню зразка 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 складових.

Рельєф, утворений затемненими і світлішими ділянками, відтворює картину структури.

## 22.16.2. Мікроаналіз

**Мікроаналіз** — це дослідження спеціально виготовлених мікрошліфів за допомогою металографічних мікроскопів, які дають збільшення в 50–2000 і більше разів. При вивченні мікрошліфів виявляють дефекти у вигляді мікротріщин і мікроскопічних уключень, визначають структурні складові зварного з'єднання (різних ділянок шва і зони термічного впливу), що дозволяє робити висновки про процеси кристалізації металу шва.

Мікрошліфи виготовляють із вирізаних для металографічного аналізу ділянок металу зварного з'єднання. Для зручності обробки площа шліфа не повинна перевищувати 20×20 мм, а товщина — 10–15 мм. При звичайному шліфуванні глибина шару із спотвореною дією образива структурою становить 50–100 мкм, оскільки глибина травлення для виявлення мікроструктури не перевищує 10 мкм. Шар із спотвореною при шліфуванні структурою повинен бути видаленим. 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 мікрошліфів із низьковуглецевих низько- і середньолегованих сталей найчастіше використовують слабкі спиртові розчини кислот.

Дуже високу якість мікрошліфів можна одержати при електролітичному поліруванні й травленні. Для цього їх занурюють у ванну з електролітом і пропускають електричний струм. Мікровиступи зразка під дією струму розчиняються. При цьому поверхня шліфа одночасно полірується і протравлюється. Цей метод дає можливість повністю ліквідувати сліди шару, який деформується при механічній обробці, і дозволяє виявити найтонші структурні складові.

## 22.16.3. Вимірювання твердості

**Твердістю** називається здатність металу чинити опір пластичній деформації при вдавлюванні в нього значно твердішого тіла. Твердість дає можливість одержати правильну картину показників міцності різних ділянок зварного з'єднання, тому що для пластичних металів вона пропорційна тимчасовому опору при розриві.

До основних видів 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 вдавлюванні 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 перевірити твердість деталей 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 випробовуваний зразок металу.

Велике значення має визначення твердості окремих складових зварного шва — мікротвердості. Це дозволяє оцінити повноту проходження багатьох металургійних процесів, які проходять при зварюванні.

Вимірювання твердості рекомендується проводити за відповідними схемами. Для стикових з'єднань листів товщиною менше 3 мм дозволяється проводити вимірювання твердості по зовнішній поверхні зразка із знятим до рівня основного металу «посилення».

## 22.17. КОРОЗІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ

Корозією називається зниження міцності зварних з'єднань, яке викликане незворотними фізико-хімічними перетвореннями, які проходять у металі 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 концентрацією агресивного компонента в середовищі, яке діє на метал. Типи й види корозії відображені в таблиці 22.2.

Хімічна корозія має найбільше значення при підвищених температурах на межах металу з газовим середовищем. Її називають газовою корозією.

Цей процес 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-провідним 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, перекристалізація, 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 міжкристалітна:</i>	
в зоні термічного впливу	
ножова в зоні плавлення	
у зварному шві	
точкова	
<i>Корозійна втомлюваність:</i>	
корозійне розтріскування	
повторно статистична, циклова	

Серед загальної корозії найбільш небажаними є ті її види, які мають зосереджений характер. Місцева міжкристалічна корозія, яка виникає переважно у зварних з'єднаннях хромистих і хромо-нікелевих сталей і алюмінієвих сплавах, 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 спільну 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 втрати або визначають товщину зруйнованого металу.

## 22.18. ХІМІЧНИЙ І СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Хімічний склад основного і присаджувального металу суттєво впливає на його механічні, корозійні й технологічні зварювальні властивості. Тому розробляючи нову технологію зварювання, перевіряючи правильність матеріалів, які застосовуються, проводячи дослідження причин появи різного роду дефектів, виконують хімічний аналіз металу різних ділянок зварного з'єднання. Хімічному аналізу піддають основний метал, електроди, присаджувальний дріт 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 мм<sup>2</sup>. 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.

## Контрольні запитання та завдання

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'явилась 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 найнебезпечнішими 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 види контролю зварювання магнітними методами.
26. Як здійснюється галоїдний контроль?
27. Охарактеризуйте індикаторні рідини.
28. Охарактеризуйте магнітопорошковий 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, здачу готової продукції.

**Допоміжний час** складається з часу на встановлення деталі, поворот її в процесі зварювання, регулювання струму, розігрівання кромки, перехід з одного місця на інше, огляд шва, очищення кромки і шва, клеймування й прибирання виробу тощо.

**Час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби** включає в себе прибирання робочого місця та устаткування.

У більшості випадків підготовчо-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:

$$V_H = Fl,$$

де  $V_H$  — об'єм наплавленого металу,  $\text{см}^3$ ;  $F$  — площа поперечного перерізу шва,  $\text{см}^2$ ;  $l$  — довжина шва,  $\text{см}$ .

Масу наплавленого металу визначають за формулою:

$$Q_H = V_H \gamma,$$

де  $Q_H$  — маса наплавленого металу,  $\text{г}$ ;  $V_H$  — об'єм наплавленого металу,  $\text{см}^3$ ;  $\gamma$  — густина металу,  $\text{г}/\text{см}^3$  (для сталі  $\gamma = 7,8 \text{ г}/\text{см}^3$ ).

Силу зварювального струму ( $I_{зв}$ ) встановлюють залежно від діаметра електрода, просторового положення шва та інших даних.

Коефіцієнтом наплавлення ( $\alpha_H$ ) називають кількість металу, наплавленого протягом 1 год горіння дуги на одиницю сили струму ( $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$ ). При ручному зварюванні коефіцієнт наплавлення залежить від марки електрода (табл. 23.1).

Таблиця 23.1

**Залежність коефіцієнта наплавлення від марки електрода**

Марка електрода	Коефіцієнт наплавлення, $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$
УОНИ-13/45	8,5
АНО-11	10,5
ЦМ-7	10,6
МР-3	7,8
ОММ-5	7,25
АНО-1	15,0
СМ-11	9,5
ОЗС-2	8,5
АНО-3	8,5
ЦЛ-9	9,0

Основний час зварювання ( $t_{зв}$ ) визначають за формулою:

$$t_{зв} = \frac{Q_H}{I_{зв} \alpha_H}.$$

Допоміжний час при ручному зварюванні складається з часу, витраченого на вмикання і вимикання джерела живлення, зміну електродів, зачищення кромки, установлення і зняття деталей, зачищення шлаку, огляду швів тощо.

Витрати підготовчо-заключного і допоміжного часу на обслуговування робочого місця і відпочинок становлять 30–50% і визначаються хронометражними спостереженнями.

Витрати електроенергії на 1  $\text{кг}$  наплавленого металу при зварюванні на змінному струмі становлять 3–4  $\text{кВт} \cdot \text{год}$ , а при зварюванні на постійному струмі — 4–6  $\text{кВт} \cdot \text{год}$ .

### 23.3. НОРМУВАННЯ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ТА АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Норму часу на автоматичне і напівавтоматичне зварювання визначають за таким же методом як і на ручне дугове зварювання. При 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  $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$ . Витрати дроту ( $Q_{др}$ ) при автоматичному зварюванні становлять  $Q_{др} \approx 1,1Q$ , де  $Q$  — маса наплавленого металу.

Підготовчо-заключний час складається з часу, витраченого на ознайомлення та одержання завдання, інструктаж, установлення режиму зварювання, підготовку та встановлення пристосувань.

Допоміжний час включає витрати часу на зачищення і огляд зварюваних кромки, завантаження флюсу, встановлення й зняття виробу, огляд швів та інші операції.

При автоматичному зварюванні на обслуговування робочого місця витрачається значно менше часу, ніж при ручному дуговому зварюванні. Підготовчо-заключний і допоміжний час на обслуговування робочого місця і відпочинок становить 10–13% основного часу зварювання.

### 23.4. НОРМУВАННЯ НАПЛАВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

При розрахунках норми основного часу на наплавлення використовують погодинну продуктивність, тобто враховують кількість наплавленого металу за 1 год.

Для ручного дугового наплавлення час наплавлення ( $t_H$ ) однієї деталі ( $t_H$ ) визначають за формулою:

$$t_H = \frac{60Q_H}{I_{зв} \alpha_H} K,$$

де  $K = 1,5$  — коефіцієнт, який ураховує допоміжний час на технічне обслуговування і перерви на відпочинок;  $\alpha_H = 12–18 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{год}$  — коефіцієнт наплавлення.

Допоміжний час становить 30–50% основного часу і його вставляють за допомогою хронометражного спостереження.

При наплавленні порошковим дротом відкритою дугою коефіцієнт наплавлення дорівнює 13–16 г/А·год, витрати дроту на 1 кг наплавленого металу становлять 1,25–1,42 кг.

Нормою часу при наплавленні порошкоподібних матеріалів є погодинна продуктивність, при якій наплавляють поверхню площею 60–100 см<sup>2</sup> 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 розрахунки основного часу зварювання?
3. Як визначають масу наплавленого металу?
4. Що називають коефіцієнтом наплавлення?
5. Як визначають норму часу на автоматичне і напівавтоматичне зварювання?
6. Які особливості нормування наплавлювальних робіт?
7. Визначте витрати електроенергії при наплавленні 0,5 кг металу.
8. Що входить до норми часу на виконання зварювальних робіт?
9. Як визначають основний час при зварюванні вертикальних, горизонтальних і стельових швів?
10. Як визначають силу зварювального струму?
11. Як визначають основний час при ручному дуговому зварюванні?
12. З чого складається допоміжний час при ручному зварюванні?
13. Які витрати електроенергії при зварюванні на змінному і постійному струмі?
14. Від чого залежить коефіцієнт наплавлення при напівавтоматичному зварюванні?
15. Яка тривалість підготовчо-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?

## ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ

### 24.1. ОСНОВНІ ВИДИ ТРАВМАТИЗМУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА РІЗАННІ

При виконанні зварювальних робіт можливий виробничий травматизм та шкідливий вплив зварювання і термічного різання на людину. Вони можуть призвести до тимчасової втрати працездатності, а при певних обставинах і до тяжчих наслідків (табл. 24.1).

Таблиця 24.1

Основні види і причини травматизму при зварюванні та різанні

Вид травматизму і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид зварювання та різання
Ураження електричним струмом	Протікання через організм людини електричного струму силою 0,002–0,05 А може призвести до смерті	Електричні удари і травми	Зварювання всіх видів з використанням електроенергії
Дія променевої енергії дуги	Виділення електричною дугою потужних потоків видимих світлових і невидимих (ультрафіолетових та інфрачервоних) променів і їх дія на 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 згорання і випаровування захисних покриттів основного металу (цинку, свинцю та ін.), компонентів покриттів електродів, флюсів і паст	Ураження органів, травлення, пневмокніоз	Дугове зварювання покритими електродами і під флюсом, зварювання і різання плакованих і кольорових металів

Вид травматизму і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид зварювання та різання
Вибухонебезпечність при роботах із застосуванням кисню, з емкостями під тиском, при ремонті посудин із під горючого	Утворення вибухових сумішей з повітрям і киснем Ударна дія, неправильне транспортування або експлуатація, перегрів газових балонів Утворення сумішей з повітрям, парів горючих рідин (у замкнутому просторі) вибухонебезпечних при дії високих температур	Наслідки вибухів Те ж Те ж	Термічне різання Зварювання дугове і в захисних газах, термічне різання Дугове зварювання, термічне різання
Теплові опіки	Дія на незахищену шкіру високої температури дуги, іскр, нагрітого металу, флюсу і т. д.	Опіки різного ступеня	Зварювання всіх видів з нагрівом, термічне різання
Метеорологічні умови	Низька і висока температура повітря, сильні повітряні потоки, опади	Переохолодження, перегрів, простудні явища	Зварювання, термічне різання на будівельних площадках
Пожежна небезпека	Дія на вогнебезпечні матеріали відкритої дуги, іскр, розплавленого 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 напруги 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 уражуються нервова система, м'язи грудної клітки, серцевий м'яз; можливий параліч дихальних центрів і втрата свідомості. До електричних травм відносяться опіки шкіри, м'язів і кровоносних судин.

Ураження електричним струмом найнебезпечніше при включенні людини в 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 зору протягом 10–30 с у радіусі до 1 м від дуги, може викликати сильне подразнення, слезотечу і світлобоязнь. Тривала дія світла дуги за таких умов може призвести до більш тяжких захворювань (електрофтальмія, катаракта). Промені зварної дуги діють на органи зору на віддалі до 10 м від місця зварювання. Підвищена яскравість променів дуги спостерігається в захисних газах, особливо при зварюванні плавким електродом алюмінію в аргоні.

**Шкідливі речовини** (гази, пара, аерозоль) при зварюванні виділяються в результаті фізико-хімічних процесів, які виникають при плавленні і випаровуванні зварного металу, компонентів покриття електродів і зварних флюсів, а також за рахунок рекомбінації газів під 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 фтористих сполук, а також окисню вуглецю, азоту і озону.

Дія зварювального аерозолю може призвести до появи професійних інтоксикацій та пневмоконіозу, розвиток і тяжкість перебігу яких залежить від хімічного складу й концентрації шкідливих речовин.

Близько 80% виявлених випадків професійних захворювань зварників в Україні зумовлені дією зварювальних аерозолей на органи дихання.

**Вибухонебезпека** зумовлюється застосуванням при зварюванні й різанні кисню, захисних газів, балонів із стиснутими газами.

Вибухонебезпечні хімічні сполуки, що утворюються при ремонті резервуарів та іншої тари для зберігання горючих рідин, потребують спеціальних заходів для запобігання вибухам.

**Теплові опіки, удари й поранення** можуть виникнути внаслідок дії високої температури джерел зварювального тепла і значному нагріву металу при зварюванні й різанні, особливо при обмеженій можливості огляду робітником оточуючого простору при виконанні робіт із використанням 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 й різанні зумовлюється тим, що температура плавлення металу перевищує 1 000°C, а рідкі горючі речовини, дерево, папір, тканини та інші легкозаймисті матеріали загоряються при температурі 250–400°C.

Зварникам і різальникам, зайнятим у будівництві, часто доводиться працювати поблизу діючих будівельно-монтажних машин, у важкодоступних місцях на тимчасових підмостках, на великій висоті, в котлованах, траншеях, що значно збільшує небезпеку травматизму.

## 24.2. ЗАХОДИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

1. Необхідно надійно заземляти: корпуси зварювальних апаратів і установок; затискачі вторинного кола зварювальних трансформаторів, призначені для підключення зворотного проводу; зварні ви­роби й конструкції.

2. Не торкатися незахищеними руками (без діелектричних рукавиць) струмонесучих 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 вибухонебезпечного середовища) рекомендується застосовувати у якості зворотного проводу зварювального кола тільки у випадках, коли їх зварюють. Забороняється використовувати в якості зворотного проводу зварювального кола контури заземлення, труби санітарно-технічних пристроїв, металоконструкції закінчених будов і технологічного обладнання.

6. При прокладанні зварювальних проводів і їх переміщенні не допускати пошкодження ізоляції та контакту проводів з водою, маслом, сталевими канатами, рукавами (шлангами) і трубопроводами з горючими газами й киснем, а також з гарячими трубопроводами.

7. Гнучкі проводи електричного керування зварювальної установки при значній їх протяжності для захисту від пошкоджень розміщують у гумові або брезентові рукави. При необхідності зварювальний провід додатково обмотують брезентовою стрічкою.

8. Надійно заземляти металевий корпус осцилятора, конструкція якого повинна забезпечувати автоматичне виключення струму при відкриванні його дверей.

9. Не ремонтувати зварювальне обладнання та установки, які знаходяться під напругою.

10. При зварюванні в особливо небезпечних умовах (усередині металевих ємкостей, трубопроводів, у тунелях, на понтонах) слід:

— електрозварювальні установки оснащувати пристроями автоматичного відключення напруги холодного ходу або обмеження його до напруги 12 В з витримкою не більше 0,5 с;

— виділяти допоміжного робітника, який повинен знаходитися поза ємкістю для спостереження за безпекою роботи зварника. Зварнику видають пояс із шнурком, 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 та спецодязі.

### *При ураженні електричним струмом необхідно:*

— терміново відключити струм найближчим вимикачем або перенести потерпілого від струмоведучих частин, використовуючи сухі підручні матеріали (дошку тощо), після чого покласти його на теплу підстилку і по можливості зігріти;

— негайно викликати медичну допомогу, враховуючи, що затримка понад 5–6 хв може призвести до непоправимих наслідків;

— якщо постраждалий втратив свідомість, то його негайно роздягають, з ротової порожнини видаляють сторонні предмети, відтягують язик (щоб не западав) і негайно приступають до виконання штучного дихання, продовжуючи його до прибуття лікаря або відновлення нормального дихання.

## 24.3. ЗАХИСТ ВІД СВІТЛОВОЇ РАДІАЦІЇ

Для захисту очей і обличчя зварника від світлової радіації електричної дуги застосовують ручні щитки, маски або каски, які виготовляються відповідно до вимог ГОСТу 12.4.035.

Ці вимоги регламентують захисні характеристики (відсутність проникнення випромінювання дуги, стійкість матеріалу корпусу до бризок розплавленого металу, питома електрична міцність матеріалу корпусу, опір ізоляції каски), а також масу, габаритні розміри й міцність щитка. Найважливішим і відповідальним елементом щитків є світлофільтри, 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 за місцем зварювання.

Нині широко застосовують скляні світлофільтри серії С, які поділяють на 13 класів. Вони забезпечують захист очей від випромінювань при зварюванні та струмах від 5 до 1000 А. Вибирають світлофільтри залежно від виду зварювання і сили струму відповідно до ГОСТу 21-6-87 (табл. 24.2).

Щитки випускають двох видів: із світлофільтром для нормального огляду (розмір 52×102 мм) і збільшеного (90×120 мм). Від подрипин, пропалів та інших пошкоджень зовні світлофільтр захищає скло товщиною до 2,5 мм. Усередині також установлюють пікладку з оргскла товщиною не більше 2 мм.

Захисні ручні й наголовні щитки для електрозварників із світлофільтрами для нормального та збільшеного огляду призначені для зварювання швів складної конфігурації (перехід із нижнього положення у стельове, вертикальне та в зворотному напрямку, для зварювання з підвищеною швидкістю або у важкодоступних місцях).

Таблиця 24.2

## Рекомендовані світлофільтри при дуговому зварюванні

Спосіб зварювання	Сила струму, А, залежно від класу світлофільтра											
	С-1	С-2	С-3	С-4	С-5	С-6	С-7	С-8	С-9	С-10	С-11	С-12
Покритими електродами сталі, чавуну й міді	-	-	15-30	30-60	60-150	150-275	275-350	350-600	600-700	700-900	900 і вище	-
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 і вище
легких сплавів	-	-	-	15-30	30-50	50-90	90-100	150-275	275-350	350-600	600-800	800 і вище
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 і вище		

Для захисту очей робітників застосовують окуляри за ГОСТом 12.4.013. 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. Принцип дії заснований на зміні коефіцієнта пропускання (прозорість фільтра) світлового випромінювання при запалюванні зварної дуги. Фільтр має три робочих стани: відкрите, закрите й проміжне. Забороняється зварювання «всліпу» і при частій зміні положення щитка при заміні 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 виробках).

Для послаблення контрасту між яскравістю світла дуги, поверхнею стін цеху (або кабін) і обладнання їх фарбують у світлі тони з розсіюваним відображенням світла, а також забезпечують хороше освітлення 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	Усередині замкнених просторів із попереднім підігрівом розбрикування розплавленого металу до 400°C	Захист тіла від підвищених температур та інтенсивного розбрикування розплавленого металу	Ізольований іскростійкий костюм у комплекті з охолоджуючими елементами
	Те ж з попереднім підігрівом до 150°C	Захист передньої частини тіла від підвищених температур, інтенсивного розбрикування металу	Брезентовий костюм з вогнестійким просочуванням із захисними накладками, виготовленими з іскростійкого й термостійкого матеріалу в комплекті з охолоджуючими елементами
	У виробничих приміщеннях	Захист тіла від інтенсивного розбрикування металу в умовах нормального мікроклімату	Брезентовий костюм з вогнестійким просочуванням та з захисними накладками із спілка (ТУ 17-08-123-85)
	Те ж у холодну пору року	Те ж в умовах понижених температур повітря	Брезентовий костюм з вогнестійким просочуванням і з захисними прокладками із іскростійкого матеріалу з помірним покриттям в комплекті з утепленими прокладками залежно від кліматичних зон країни (ТУ-17-08-122-85, тип Б)

Вид зварювання	Умови праці	Призначення одягу	Рекомендований одяг
В інертних газах	У виробничих приміщеннях	Захист передньої частини тіла і обличчя від електромагнітних випромінювань оптичного діапазону (ультрафіолетового) і незначного розбризкування металу	Костюм із полегшеного брезенту із полегшеними накладками із тканини фенілон, стійкої проти опромінення; костюм з фенілоно-бавовняної тканини (ТУ 17-08-325-91), халат із фенілоно-бавовняної тканини (ТУ 17-08-326-91)
Під флюсом	У виробничих приміщеннях	Захист від незначного і випадкового розбризкування гарячого шлаку та окалини	Брезентовий костюм з вогнезахисним просочуванням (ТУ 17-08-237-85)

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона 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 безпечність роботи, значно скоротити кількість простудних захворювань і випадки 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 малотоксичних матеріалів і процесів (наприклад, використовувати електроди з покриттям рутилового типу, зварювання штучними електродами замінити на зварювання у вуглекислому газі або порошковим дротом і т. п.);

2. Уловлювати шкідливі для організму людини речовини, що входять до складу зварювальних аерозолей, за допомогою фільтро-вентиляційних агрегатів (ФВА). При цьому спеціальні повітряно-приймальні пристрої (сопла) встановлюються на 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 м<sup>2</sup>

повітря за 1 год. У випадку бокового відсмоктування, що часто визначається конфігурацією зварної конструкції, для ефективного вловлювання такої кількості повітря недостатньо. Тому сопло 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 «Шміль-1500», продуктивність видалення повітря становить 1500–300 м<sup>3</sup>/год, радіус обслуговування не більше 3 м;

3. Для видалення аерозолей всередині замкнутих ємкостей і в важкодоступних місцях застосовують переносний витяжний пристрій «Лань», який забезпечує об'єм видаленого повітря до 1200 м<sup>3</sup>/год;

4. У зварювальному виробництві широко використовуються підйомно-поворотні витяжні пристрої «Ліана», «Грум», «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 (витяжні шафи, похиле панельно-щілинне відсмоктування та столи з нижнім підрешітчастим відсмоктуванням).

В Україні до 80% виявлених випадків захворювань зварників викликані дією зварювальних аерозолей на органи дихання. Пріоритетними напрямками 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, вже всередині 80-х років ХХ 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 кремнію, інших кислих газів, розкладання озону, окиснення СО<sub>2</sub>, 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 електродами з руднокислим покриттям ЦМ-7, ОММ-5	1-а стадія – головний біль, слабкість, сонливість, головокружіння, болі в кінцівках; 2-а і 3-я стадія – хронічний стан, поява початкових форм органічного ураження центральної нервової системи	Ефективна вентиляція робочого простору. Застосування електродів із рутіловим покриттям (АНО-4, МР-3 та ін.)
<i>Фтористі сполуки</i>		
Зварювання під флюсом ОСЦ-45	Солодкий присмак у роті, головокружіння	Застосування флюсів АН-348А, ФЦ-9. Посилена вентиляція робочого простору
Зварювання електродами з фтористокальцієвим покриттям	Після закінчення роботи озноб, підвищення температури, іноді нудота, блювота	
<i>Оксиди вуглецю</i>		
Зварювання у вуглекислому газі в замкнутих просторах	Підвищена втомлюваність, головний біль, нудота, блювота, втрата свідомості	Посилена вентиляція 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, втрата апетиту, спрага, підвищена втомлюваність, сухий кашель. Приступи лихоманки – озноб, підвищення температури, нудота, блювота	Присаджувальний метал у вигляді дроту АК-62-0,5. Посилена вентиляція, застосування респіраторів. Зварювання оцинкованої сталі рутіловими електродами або у вуглекислому 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 – коліки, сильний головний біль	Посилена вентиляція, видалення фарби із зони нагріву. Дотримання чистоти шкіри, одягу. Приймання їжі у спеціально обладтованих місцях

### 24.5. ЗАПОБІГАННЯ МОЖЛИВИМ ВИБУХАМ

Незаперечно 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 закріпленими. 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 оберегати редуктори, клапани та вентилі балонів від забруднень.

4. Забороняється зварювання й термічне різання при ремонті ємкостей, посудин, які знаходяться під надлишковим внутрішнім тиском.

5. Ємкості, які використовувалися під горючі рідини, ремонтувати тільки після дво-трикратного промивання водним розчином каустичної соди або тринатрійфосфату, 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 аргоном під тиском не більше 0,01 МПа (з таким розрахунком, щоб вміст кисню в такій газовій суміші не перевищував 5%).

### 24.6. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ВІД ТЕПЛОВИХ ОПІКІВ

1. Для попередження теплових опіків електрозварник повинен працювати в брезентовому спецодязі та рукавицях; у черевиках з боківими застілками, а штани носити тільки навіпуск. Кишені куртки слід закривати клапанами, а кінці рукавів зав'язувати стрічками. Голову накривають головним убором або фібролітовою каскою.

2. Слідкувати за станом спецодягу, враховуючи, що нормами його видачі електрозварникам передбачаються терміни носіння.

3. Дотримуватися обережності при роботі з нагрітим металом, шлаком, огарками електродів. При збиванні шлакової кірки (при зварюванні під флюсом) захищати очі окулярами з простим склом.

4. Не допускати перегріву електродотримачів і пальників для напівавтоматичного зварювання, а також іншого зварювального інструменту, який знаходиться під струмом.

5. При стельовому зварюванні користуватися азбестовими на рукавниками і щільно їх зав'язувати.

6. При гарячому зварюванні чавуну 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 слідкують за рівнем ванни і станом системи охолодної води.

8. Під час зварювання категорично забороняється знаходитися під повзуном, накладкою 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 наплечники для захисту шиї й плечей.

2. Для перенесення інструмента, електродів та інших зварювальних матеріалів, а також для огарків використовувати спеціальні інструментальні ящики або циліндричні пенали з негорючого матеріалу. Не допускати розкидання електродних огарків.

3. На висоті працювати із запобіжним поясом, прикріплюватися ним до нерухомих і міцних конструкцій.

4. Виконувати роботи по зварюванню і різанню на висоті з риштування, підмосток і колісок тільки після перевірки цих пристроїв майстром або виконувачем робіт. Риштування й підмостки шириною не менше 1 м повинні бути суцільними, з міцними та стійкими загородженнями. Як виключення допускаються короточасні роботи з приставних драбин, з упорами у вигляді металевих шипів, гумових наконечників та інших тормозних пристроїв. Верхні кінці драбини закріплювати до інших нерухомих конструкцій, а також передбачити заходи проти випадкового зсуву драбин.

5. При проведенні робіт у декілька ярусів необхідно передбачити накриття 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 (навіси, дашки).

7. При ожеледиці, вітрі понад шести балів виконувати зварювання або різання на висоті не дозволяється.

8. Забороняється проводити роботи по зварюванню та різанню на відкритому повітрі при температурі нижче  $-30^{\circ}\text{C}$ .

9. Взимку зварники й різальники повинні мати можливість обігріву. При температурі від  $-20$  до  $-25^{\circ}\text{C}$  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, паклі, горючого сміття в радіусі не менше 10 м, а також видалити із цієї зони інші вибухо- та вогнебезпечні речовини.

3. Обережно переміщувати зварювальні проводи. При цьому особливо небезпечним є іскріння проводів (при недостатній або порушеній ізоляції) у місцях, віддалених від зварника, або недоступних для спостереження.

4. Заборонено робітникам переміщуватися із запаленим пальником або різакон за межу робочого місця, а також підніматися по сходах, риштуваннях тощо.

5. При зварюванні та різанні в небезпечних зонах обладнують спеціальні пожежні пости.

6. При тривалій або концентрованій дії іскор і крапель розплавленого металу, що утворюються при зварюванні й різанні, дерев'яні настили та підмостки необхідно захищати від 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 горючих матеріалів, сміття.

#### **24.9. ОХОРОНА ПРАЦІ ЗВАРНИКІВ І РІЗАЛЬНИКІВ**

1. Існуюче законодавство з питань охорони праці зварників і різальників, як й інших робітників, передбачає комплекс правових, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, направлених на забезпечення здорових і безпечних умов праці.

Відповідальність за організацію та стан охорони праці й техніки безпеки покладено на адміністративно-технічний персонал виробничих підрозділів підприємств, які проводять зварювальні роботи. За охорону праці відповідають начальники виробництва, майстри, фахівці з охорони праці.

2. Державний контроль за виконанням норм і правил з охорони праці здійснює інспекція Держтехнаглядохорони праці, інспектори.

За дотриманням санітарних умов праці слідкує Державна санітарна інспекція; за нормами пожежної охорони — Державна інспекція пожежної охорони.

3. Згідно з діючими положеннями, до зварювальних робіт усіх видів допускаються особи віком 18 років і старші.

Зварювання і різання можуть виконувати робітники, які пройшли спеціальне навчання. Додатково перевіряють знання правил охорони праці; результати вказаної перевірки записують в журналі встановленої форми.

Повторний інструктаж проводить адміністрація щоквартально і перед кожною новою роботою.

4. Для робітників, зайнятих зварюванням і різанням, законодавством передбачено додаткові відпустки різних термінів залежно від конкретно виконаної роботи.

5. Зварникам і різальникам, згідно із законодавством, безкоштовно видаються спецодяг, спецвзуття та запобіжні пристрої.

6. До зварювання і різання на висоті допускаються робітники, які пройшли додатковий медогляд і мають посвідчення про вивчення спеціальних методів верхолазних 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. Кожний зварник (різальника) повинен володіти спеціальними знаннями та неухильно 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 призводить дія зварювального аерозолю?
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 електродами сталі при струмі зварювання 350 А.
7. Що використовують для зниження дії на організм зварників шкідливих виділень і аерозолей?
8. Для чого застосовують респиратори?
9. Вкажіть способи запобігання вибухам.
10. Охарактеризуйте заходи профілактики теплових опіків зварників.
11. Назвіть основні правила безпечного ведення зварювальних робіт на будівельно-монтажних площадках.
12. Назвіть основні протипожежні заходи при зварюванні.
13. На кого покладається відповідальність за охорону праці на підприємстві?
14. Хто допускається до виконання зварювальних робіт?

## ДОДАТКИ

Додаток 1

### Кольори мінливості при нагріванні сталі

Температура, °C	Колір свічення при нагріванні
1300	Сліпучо-білий
1200	Яскраво-жовтий
1100	Світло-оранжевий
1000	Оранжевий
900	Червоний
850	Яскраво-червоний
800	Вишнево-червоний
700	Темно-вишнево-червоний
600	Темно-червоний (початок свічення)

Додаток 2

### Визначення хімічного складу сталі за допомогою проби на іскру

Метал	Колір і характеристика іскрового пучка
Низьковуглецева сталь (до 0,2% C)	Світло-жовті рівні світлові лінії, продовговаті крапленодібні іскри
Середньовуглецева сталь (0,5% C)	Світло-жовті світлові полоси, розгалужені з рідким утворенням маленьких зірочок
Вуглецева інструментальна сталь (0,9% C)	Світло-жовті іскри з чисельними променистими зірочками
Тверда вуглецева інструментальна сталь (1,2% C)	Яскраві пучки іскор складаються з ясно-жовтих часто розгалужуваних зірочок
Марганцева сталь (10–14% Mn)	Біло-жовті яскраві пучки променів, сильно розгалужені перпендикулярно до ліній іскор
Швидкорізальна сталь (10% W, 4% Cr, 1% C)	Темно-червоні перервні лінії іскор, розгалужені на більш ясні зірочки

## 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
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	мілі	м	m
$10^{-6}$	мікро	мк	$\mu$
$10^{-9}$	нано	н	N
$10^{-12}$	піко	п	p

## Одиниці вимірювання та перевідні коефіцієнти

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Температура	кельвін	К	$T^{\circ}\text{C} = \text{TK} - 273,15$
Маса	грам	г	1 фунт = 409,5 г; 1 т = 1000 кг
Довжина	метр	м	1 А° = $10^{-10}$ м = 0,1 нм (А-ангстрем); 1 дюйм = 25,4 мм; 1 фут = 30,48 см
Об'єм, місткість	кубічний метр	$\text{м}^3$	1 л = 1 $\text{дм}^3$
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 <sup>2</sup>	1 Дж/см <sup>2</sup> = 0,9807 кгс·м/см <sup>2</sup>
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

Величина	Одиниці СІ		Співвідношення одиниць
	назва	позначення	
Тиск, напруга, границя міцності	паскаль	Па	1 Па = $1\text{н}/\text{м}^2$ ; 1 кгс/мм <sup>2</sup> = 9,807 МПа; 1 кгс/см <sup>2</sup> = 98,07 КПа = 0,09807 МПа = = 105 Па = 1 бар; 1 мм вод.ст. = 1 кгс/м <sup>2</sup> = 9,807 Па; 1 мм.рт.ст. = 133,3 Па
Сила струму	ампер	А	
Напруга	вольт	В	
Частота	герц	Гц	
Опір	ом	Ом	

## Фізичні властивості неметалів

Неметали	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С	Густина, г/см <sup>2</sup>	Умовні позначення в марках металів і сплавів	
				чорних	кольорових
N азот	-210	-195,5	1,0	А	
B бор	2075	3860	3,33	Р	
Br бром	-7,3	59	3,12		
H водень	-259,4	-252,8	–		
C вуглець	3500	–	3,51 (алмаз)	У	
I йод	137	183	4,93		
O кисень	-218,8	-183	1,12		
Si кремній	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		
P фосфор	44,2	280	1,82	П	Ф
Cl хлор	-101,3	-34	1,57		
F фтор	-223	-188,1	1,11		

## Властивості хімічних елементів

Елемент	Символ	Умовне позначення в марках металів і сплавів		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>	Теплопровідність, Вт/мК	Теплоємність, Дж/кгК	Питомий електричний опір, мкОм·м	Температурний коефіцієнт		Твердість, Нв-107 Па	Границя міцності, δ-107 Па
		чорних	кольорових	плавлення	кипіння					електроопору, 10 <sup>-3</sup> /к	лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup> /к		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Срібло	Ag	-	Ср	960,8	2163	10,5	4255	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	-	-
Берилій	Be	Л	В	1287	2470	1,85	194	2052	0,033	9,0	12	-	-
Бісмут	Bi	-	-	271	1564	9,80	9	124,8	11,7	4,6	13,4	9,4	1,7
Кальцій	Ca	-	-	839	1484	1,54	125	624	0,037	4,57	22	-	-
Церій	Ce	-	-	798	3430	6,75	11,9	188	0,854	8,7	8	-	-
Кадмій	Cd	Кд	Кд	321	767	8,64	103	233,2	0,073	4,3	31	20	6,8
Кобальт	Co	К	К	1492	2930	8,9	96	427	0,0634	6,6	12,5	-	-
Хром	Cr	Х	Х	1860	2680	7,1	91,3	461	0,132	2,14	6,5	112	41
Цезій	Cs	-	-	28,5	670	1,87	36,1	234	0,20	4,8	97	-	-
Міль	Cu	Д	М	1083,4	2560	8,96	397	386	0,0169	4,3	17	45	23
Залізо	Fe	Ж	Ж	1536	2860	7,84	78,2	456	0,101	6,5	12,1	-	-

## Продовження додатку 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Галій	Ga			29,7	2205	5,91	41,0	377	-	-	18,3	2,5	3,5
Германій	Ge			937	2830	5,32	56,4	310	-890	-	5,75	-	-
Гафній	Hf			2227	4600	13,1	22,9	147	0,322	4,4	6,0	145	42
Ртуть	Hg			-38,87	357	13,55	8,65	138	0,959	1,0	61	-	-
Індій	In			156,4	2070	7,3	80,0	243	0,088	5,2	24,8	0,9	0,3
Іридій	Ir			2454	4390	22,4	146,5	130,6	0,051	4,5	6,8	212	22
Калій	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	Мн	1244	2060	7,4	7,8	486	16,0(a)	-	23	-	-
Молюбден	Mo	М	М	2615	4610	10,2	137	251	0,057	4,35	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
Осмій	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
Паладій	Pd			1552	2960	12,0	75,5	247	0,108	4,2	11,0	40	14
Платина	Pt		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	356	0,121	4,8	9,0	-	-
Реній	Rc			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	9,6	216	50
Сурма	Sb		Су	630,5	1590	6,68	23,8	209	0,401	5,1	8-11	-	-
Кремній	Si	С	Кр	1412	3270	2,34	138,5	729	10-10000	-	7,6	-	-
Олово	Sn	О		231,9	2625	7,3	73,2	22,6	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
Торій	Th			1755	4290	11,5	49,2	100	0,14	4,0	11,2	-	-
Титан	Ti	Т	Ти	1667	3285	4,5	21,6	528	0,54	3,8	8,9	207	45
Талій	Te			304	1473	11,85	45,5	130	0,166	5,2	30	2,6	1,2
Ванадій	V	Ф	Вам	1902	3410	6,1	31,6	498	0,196	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	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	5,9	67	22

Орієнтовні співвідношення значень твердості,  
визначеної різними методами

HV	HB	HRC	HRB	HRA	HV	HB	HRC	HRB	HRA
1234	-	72	-	84	228	229	20	100	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	90	56
551	-	50	-	74	174	174	6	89	55
534	477	49	-	74	171	170	4	88	55
502	461	48	-	73	166	167	3	87	54
474	444	46	-	73	162	163	2	86	53
460	429	45	-	72	159	159	1	85	53
435	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	118	-	71	-
270	269	27	-	64	116	116	-	70	-
261	262	26	-	63	115	114	-	68	-
255	255	25	-	63	113	111	-	67	-
249	248	24	-	62	110	110	-	66	-
240	241	23	102	62	109	109	-	65	-
235	235	21	101	61	108	107	-	64	-

**Водогазопровідні труби. Розміри (мм) і маса (кг)  
водогазопровідних труб найвживаніших типорозмірів**

Умовний прохід, $D_y$	Зовнішній діаметр, $D_3$	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	26,8	2,35	1,42	—	—	—	—
20	26,8	2,5	1,50	2,8	1,66	3,2	1,86
25	33,5	2,8	2,12	3,2	2,39	4,0	2,91
32	42,3	2,8	2,73	3,2	3,09	4,0	3,78
40	48,0	3,0	3,33	3,5	3,84	4,0	4,34
50	60,0	3,0	4,22	3,5	4,88	4,5	6,16

**Арматурна сталь. Номери профілю, площі поперечного перерізу, маса 1 м довжини арматурної сталі**

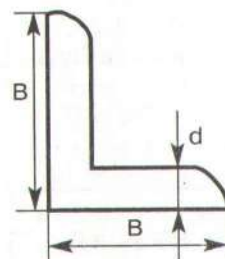
Номер профілю (номінальний номер стрижня $d_{II}$ )	Площа поперечного перерізу стрижня, $cm^2$	Маса 1 м профілю, кг
6	0,283	0,222
8	0,503	0,395
10	0,785	0,617
12	1,131	0,888
14	1,540	1,210
16	2,010	1,580
18	2,540	2,000
20	3,140	2,470
22	3,800	2,980
25	4,910	3,850
28	6,160	4,830

Номер профілю (номінальний номер стрижня $d_{II}$ )	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

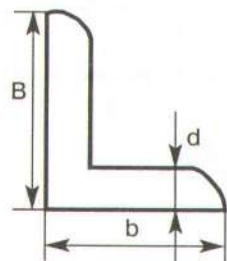
**Кутова рівнобічна прокатна сталь  
(ГОСТ 8509-72)**



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 <sup>2</sup>	Маса 1 пог. 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 <sup>2</sup>	Маса 1 пог. м, кг
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91
3,5/2	35	20	3;4	1,49;1,94	1,17;1,52
4/2,5	40	25	3;4	1,89;2,47	1,48;1,94
5/3,2	50	32	3;4	2,42;3,17	1,90;2,49
5,6/3,6	56	36	3;4;5	3,16-4,41	2,48-3,46

Номер профілю	Висота, В	Ширина, b	Товщина, d	Площа профілю, см <sup>2</sup>	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

Гарячокатана 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.

Гарячокатана 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;

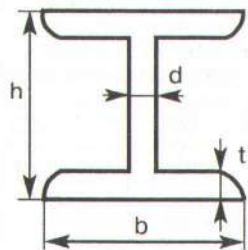
— маса 1 м відповідно, кг: 0,785; 1, 13; ...; 28,26.

Гарячокатана 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;

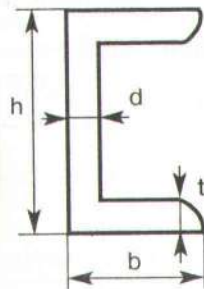
— маса 1 м відповідно, кг: 0,435; 0,680, ..., 67,98.

## Двотаврові балки (ГОСТ 8239-72)



Номер профілю	h	b	d	t	Площа перерізу, см <sup>2</sup>	Маса 1 погон. м, кг	Момент опору, см <sup>3</sup>
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

## Швелери (ГОСТ 8240-72)



Номер профілю	h	b	d	t	Площа перерізу, см <sup>2</sup>	Маса 1 погон. м, кг	Момент опору, см <sup>3</sup>
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

Тетроборат натрію  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  — сіль тетраборної кислоти  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , невиділеної у вільному стані. У природі бура зустрічається у вигляді мінералів, міститься у мінеральних нафтових водах, у виділеннях болотних вулканів. Бура утворює великі безбарвні прозорі кристали, які на повітрі вивітрюються і мутніють; середньорозчинна у воді. Буру одержують із борної кислоти, з мінералів тинкаля, керніту та з води соляних озер. З оксидами різних металів бура утворює забарвлені сполуки — борати («перли бури»), 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%  $\text{SiO}_2$ ), насичених водяною парою і газами. Колір пемзи, залежно від вмісту і валентності заліза, змінюється від білого до жовтого, бурого або чорного. Для пемзи характерна низька тепло- і звукопровідність, виражена газопроникливість. Пемза вогнестійка та хімічно інертна. Застосовується як абразивний матеріал для полірування дерева й металевих виробів, у

будівництві, 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 пальмітинової, олеїнової та інших кислот. Стеарин — тверда, напівпрозора маса, жирна на дотик, температура плавлення —  $70^\circ\text{C}$ .

Хімічні сполуки, які використовуються у зварювальних матеріалах:

цементит	— $\text{Fe}_3\text{C}$ (карбід заліза);
окалина	— $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (оксид заліза);
кремнезем	— $\text{SiO}_2$ (оксид кремнію);
плавиковий шпат	— $\text{CaF}_2$ (фтористий кальцій);
силікат марганцю	— $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ ;
силікат заліза	— $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ .

## Закордонні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей

## Сталі конструкційні леговані

Україна, Росія	Німеччина		Франція	Велика Британія	Японія	США
	Шифр	DIN				
ГОСТ			AFNOR	B. S.	JIS	AISI/SAE/ASTM
15X	1,7015	15Ck3	12C3;15Cr2;18C3	523 M 15	SGr415 (H)	5015,5115
30X	1,7030	28Ck4	—	530 A 30	—	5130
35X	1,7033	34Ck4	32C4; 34Cr4	530A32,539H32, 530 M 32	SsCr430 (H)	5132
40X	1,7035	41Ck4	41Cr4; 42C4	530A40,539H40, 530 M 40	SsCr430 (H)	5140
40X	1,7045	42Ck4	42C4TS	530A40	SCr440	5140
18XГ	1,7131	16MnCR5	16MC4; 16MnCr5	527M17590H17590M17	—	5115
18XГ	1,7147	20MnCr5	20MC5	—	SMnC420H	5120
30Г	1,1170	28Mn6	20M5; 28Mn6	(150M28); (150M19)	SCMn 1	1330
35Г2	1,1167	36Mn5	35M5	150M36	SMn438 (H)	1335
35ГЛ			40M5		SCMN 3	
40Г	1,1157	40Mn4	35M5; 40M5	150M36	—	1035,1041
50XГА	1,7176	55Cr3	55Cr3; 55C3	525A58; 525A60; 525H60	SUP 9(A)	5155,5160
50XГФА	1,8159	51CrV4	51CV4;	735A51	SUP10	6245
50XФА		50CrV4	51CrV4	735H51		6150
			50CrV4	535M50		
AC38XM	1,7220	34CrMo4	34CrMo4	708A37	SCM432	4135,4137
35XM				35CD4	SCCrM3	
35XMЛ					SCM435H	

490

40XФА	1,7223	41CrMo4	42CD4TS	708M40 3111-5/1	SNCM240	4140,4142
20XГНМ	1,6523	21NiCrMo2	20NCD2 22NCD2	805H20 805M20, 806M20	SNCM240	8620
38XГМН	1,6546	40NiCrMo2-2	40NCD2	3111-Type	SNCM447	8740
38X2H2MA	1,6582	34CrNiMo6	34CrNiMo8 35NCD8	816M40 817M40	SNCM439	4337,4340
40XH2MA	1,6565	40NiCrMo6	—	817A37,818M40	SNCM439	4340,9850
40XH	1,5711	40NiCr6	—	—	—	(X) 3140
40XH2MA	1,6511	36CrNiMo4	36CrNiMo4 35NCD5 40NCD3	817M37	—	4340
40XГНМ						9840
38X2MЮА	1,8509	41CrAlMo7	40CAD6.12	905M39	SACM645	A355CIAE71400G71406
16Г2АФ	1,8902	S420N(SIE 420)	FeE420KGN E420RIFP	—	SM490 A;B;C;YA;YB	A 633Gr.E
18ГАФ	1,8905	P460N(SIE460)	FeE460KGN E460RIFP	4360-55F	SM520 B	A 633Gr.E

491

## Закордонні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей

Сталі конструкційні вуглецеві звичайної якості

Україна, Росія	Німецьчина	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AFNOR	B. S.	UNI	AISI/SAE/ASTM
СтО	S185(Fe 310-0), St33	A 33	Fe 310-0, 1449 15 HR,HS	Fe320	A 283 Gr. A
Ст2сп, Ст2пс	S250G2T/RSt34-2	A 34-2NE	1449 34/20 HR, HS,CR,CS	Fe 330 B FN	—
16Д, 18кп, Ст3кп	S235JRG1 (Fe 360 B), USt 37-2	—	Fe360B, 4360-40 B	Fe 360 B FU	A 283 Gr.C, A570Gr.33,36
Ст3пс, Ст3сп	S235JRG2 (Fe 360 B), USt 37-2	E24-2NE	Fe 360 B FU, 1449 27/23 CR, 430-438, 6323, HFW 3, HFS 3	Fe 360 B FN	A 570 Gr.36
Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 16Д	S235J2RG3 (Fe 360 D 1), USt 37-3	E 24-3, E24-4	Fe360D1FE, 1449 37/23 CR, 4360-40 D, 6323-HFW 4, HFS 4	Fe 360 C,D, Fe 360 C FN, Fe 360 D FF, Fe 37-2	A284Gr. D, A 573 Gr.58, A 570 Gr.36; C, A611Gr. C
Ст4пс, Ст4сп	S275JR (Fe 430 B), St44-2	E28-2	Fe 430 B FN, 1449 43/25 HR, HS,4360-43 B, 6323-HFW 4, HFS4, ERW 3, CEW 4, SAW 4	Fe 430 B, Fe 430 B FN	1020, A 570 Gr. 40, A 572 Gr. 42

492

Ст4кп Ст4пс 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 572 Gr. 42
Ст5пс	E295 (Fe 490-2) St50-2	A 50-2	Fe 490-2 FN	Fe490	A 570 Gr. 50
Ст5сп	E335 (Fe 590-2) St 60-2	A 60-2	4360-50 B Fe 590-2 Fn 4360-55 E, 55 C	Fe 60-2 Fe 590	A 572 Gr. 65 A 572 Gr. 65

Сталі конструкційні низьколеговані для зварних конструкцій

14Г2	P295GH, 17 Mn 4	A 48 Cr; Ap	1501 Gr.224, 3059-440	Fe 510-1 KG; KT; KW, Fe 510-2KG; KT; KW, FeE 295	A516Gr.70, A516Gr.70, A414Gr. F;G
15ГФ	P355N, StE355	FeE355 KG N, E 355 R/FP; A510AP	1501 Gr. 255-490 A L T 20	FeE 355 KG; KW	A 633 Gr. C, A 588
17ГС	S355J2G3	E36-3	Fe 510 D1 FF; 1449 50/35 HR, HS, 4360-50 D; 6323-ERW 5, CEW5; SAW5	Fe 510 C FN, Fe510 B,C,D, Fe 510 B FN	1024; 1524 A 572 Gr.50
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
55С2	55Si7	55 S7, 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)	C60	C 60, 1 C 60, AF 70 C 55	060A6 2; 5770-60, 1449,60 HS, CS	C 60, 1 C 60	1060
60 60 Г 60ГА	C 60E, Ck60	C60 2 C 60 XC60H1, XC60	060 A 62	C 60	1060,1064
65ГА, 68 ГА, 70	C67E/Ck67	C68, XC 68	060 A 67	C 70	1070
75	C75	C75	1449 80 HS	C 75	1074, 1075
75(А)	C75E/Ck75	C75, XC 75	060 A 78, 5570-80	C 75	1074, 1075, 1078
85	C86D(D82-2)	XC80	1449 80 HS, CS	—	1086
85(А)	C85E/Ck85	C 90, XC90	—	C 90	1086

494

## Сталі конструкційні теплостійкі

12ХМ	13CrMo4-5	15 CD 3.5	1502 620-440. 1503-620-440.	14CrMo 3	A182-F11; F12
15ХМ	13CrMo4-4	15 CD4.05	1502 620-470. 3606-620. 1502 620-540. 3604-620-440	16CrMo 3	A 387 Gr. 12 C1.2
15ХМ	16CrMo4-4	15 CD 4.5	—	18CrMo4 5 KW;KG	A 387 Gr. 12 C1.2
20ХМ 30ХМ	25CrMn4	25 CD 4 25CrMo 4	708 A 25	25 CrMo 4 (KB)	4130

495

## Сталі конструкційні підшипникові

ШХ10 40Х	37Cr4	37Cr4 38Cr4	31111-3/1. 530A36 530H36 530M36	38CrMn4 38CrMn5 38Cr4KB 38CrMn4KB	5135
ШХ15	100Cr6	100C6.100Cr6	2S135.535A99	100Cr6	52100
20ГСЛ	20Mn5	20 M5	120M19	G22Mn3, 20Mn7	1022, 1518
27ХГСНМДТЛ 30ГСЛ	30Mn5	35M5	120 M 36 (150 M 28)	—	1036 1330
110ГЛЗЛ	X 120 Mn 12	Z120M12	—	GX 120 M 12	A128(A)

## Сталі для відливок

## Сталі корозійстійкі, жаростійкі, жароміцні, зносостійкі

Україна, Росія ГОСТ	Німеччина DIN	Франція AFNOR	Велика Британія B. S.	Італія UNI	США AISI/SAE/ASTM
12X8	10 Cr Mo 9-10	12 CD 9-10 10CD9-10	3059 622-490, 3606-622, 1502-622, 3604-622	12CrMo9 10;KW; KG,G14CrMo910	A182F22,A387 Gr.22 C1.2
20X13 H 4T9	X12CrMnNi 18 85	—	284S16	—	201
12X18H	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
12X18H9T	X6CrNiTi 18 10	Z6CNT18-12	321S31	X6CrNiTi1811	321
08X18H12B	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	431S29	X16CrNi16	431

496

## Сталі конструкційні вуглецеві якісні

08кп	DD13,StW24	3C	1449 1 HR	FeP 13	A622(1008)
08Ю; ЮА	DCO4,St4,St14	ES	1449 1CR,2CR	FeP 04	A620(1008)
08Ю	DCO3,RRSt3,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(DD12GI)	2C	—	Fep 12	A621(1008)
15кп	DD11,StW22	1C	1449 4HR, 14HR	Fep11	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	НП		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,XC25	055M15,(070M20)	C20,C25	1020, 1023
25	C25E,Ck25	2C25,XC25	(070M26)	C25	1025
35	C35	C35,1C35,AF55, C35,XC38	080A35,080M36, 080M36,1449 40CS	C35, 1 C35	1035

497

Україна, Росія	Німеччина	Франція	Велика Британія	Італія	США
ГОСТ	DIN	AFNOR	B. S.	UNI	AISI/SAE/ASTM
35	C35E, Ck35	C35, 2C35, XC32, XC38H1	080A35, (080M36)	C35	1035, 1038
40	C40E, Ck40	2C40, XC42H1	060A40, 080A40, 080M40	C40	1045
45	C45	C45, 1C45, AF65C45	060A47, 080M46, 1449 50HS, CS	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	C54, 1C55, AF70C55	070M55, 5770-50	C55, 1C55	1055
55	C55E, Ck55	2C55, XC55H1, XC54	060A57, 070M55	C55	1055

## Список літератури

1. Александров О. Г., Заруба І. І., Пінковський І. В. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. — К.: Техніка, 1998.
2. Биковський О. Г., Пінковський 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., Готальский Ю. Н., Патон В. Е., Грушенко А. А. Технология механизированной дуговой и электрошлаковой 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. Коновалюк 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. Мальшев Б. Д., Акулов 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. Н., Осика О. С., Симоненко Л. А., Филоненко Л. С. — К.: Екотехнология, 2001. — 223 с.
13. Сварщик. — Екотехнология. — 1999–2003. — №№ 1–6.
14. Стеклов О. І. Основи зварювального виробництва. — К.: Вища школа, 1990.
15. Степанов В. В. Справочник сварщика. — М.: Машиностроение, 1982.

16. Ханпетов 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, Н. М. Маневич, Г. Н. Полищук и др. — М.: АО Спецэлектрод, 2000.

## ЗМІСТ

Передмова .....	3
-----------------	---

### Розділ 1

#### Розвиток зварювального виробництва

1.1. Історія розвитку зварювання .....	5
1.2. Класифікація основних видів зварювання .....	6
1.3. Перспективи розвитку зварювального виробництва .....	8
Контрольні запитання та завдання .....	10

### Розділ 2

#### Зварні з'єднання й шви

2.1. Зварні з'єднання. Основні поняття та 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. 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 зона термічного впливу .....	31
Контрольні запитання та завдання .....	32
4.4. Виникнення тріщин при зварюванні .....	33
Контрольні запитання та завдання .....	33
4.5. Зварюваність матеріалів .....	34
4.5.1. Зварюваність сталей .....	34
4.6. Аналіз хімічного складу матеріалів .....	35
Контрольні запитання та завдання .....	36

## Розділ 5

### Джерела живлення дуги

5.1. Обладнання зварювального поста .....	37
Контрольні запитання та завдання .....	37
5.2. Класифікація та умовні позначення джерел живлення .....	38
Контрольні запитання та завдання .....	39
5.3. Характеристики джерел живлення і вимоги 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 неплавкими електродами .....	56
5.13. Паралельне з'єднання джерел живлення .....	57
Контрольні запитання та завдання .....	58
5.14. Інструменти та приладдя електрозварника .....	58
Контрольні запитання та завдання .....	63
5.15. Обслуговування та ремонт зварювального обладнання .....	63
Контрольні запитання та завдання .....	64

## Розділ 6

### Зварювальні матеріали

6.1. Види електродних матеріалів .....	65
6.2. Дроти для зварювання сталей і чавунів .....	65
6.2.1. Сталевий зварювальний дріт .....	65
6.2.2. Самозахисний дріт .....	67
6.2.3. Дроти 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, свинцю, цинку, срібла й магнієвих сплавів .....	70
Контрольні запитання та завдання .....	71
6.4. Матеріали для наплавлення .....	71
6.4.1. Дріт для наплавлення .....	71
6.4.2. Порошковий дріт для наплавлення під флюсом .....	73
6.4.3. Самозахисний порошковий дріт для наплавлення .....	73
6.4.4. Електродні стрічки для наплавлення .....	73
6.4.5. Порошкові електродні стрічки для наплавлення .....	74
6.4.6. Спечені електродні стрічки для наплавлення .....	74
6.4.7. Гранульовані порошки для наплавлення .....	74
6.4.8. Литі твердосплавні 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 покритих 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 покриття зварювальних електродів ...	95
Контрольні запитання та завдання .....	95
6.13. Неплавкі електроди .....	96
6.13.1. Підготовка вольфрамових електродів до зварювання ...	97
Контрольні запитання та завдання .....	97
6.14. Захисні 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 для зварювання .....	109
Контрольні запитання та завдання .....	114
7.2. Основні типи зварних з'єднань (ГОСТ 5264-80) .....	115
7.3. Режими 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. Запалювання дуги й техніка маніпулювання електродами .....	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 напруги при зварюванні**

8.1. Причини виникнення напруг і деформацій та способи їх зменшення .....	140
8.2. Термічна обробка при зварюванні .....	143
8.3. Вібраційна обробка зварних конструкцій .....	143
8.4. Забезпечення точності виготовлення зварних конструкцій .....	144
Контрольні запитання та завдання .....	146

## Розділ 9

**Зварювання в захисних газах**

9.1. Класифікація способів зварювання в захисних газах .....	147
9.2. Схеми зварювання в середовищі захисних газів .....	148
9.3. Підготовка кромки та їх складання під зварювання. Шви зварних з'єднань .....	152
9.4. Способи регулювання електричної дуги .....	154
9.5. Класифікація обладнання для механізованого зварювання .....	154
9.6. Газова апаратура й прилади .....	156
9.7. Напівавтомати та автомати для зварювання в захисних газах ...	159
9.7.1. Характеристики зварювальних напівавтоматів .....	160
9.7.2. Гнучкі напрямні 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 плавким електродами 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 електродами .....	176
9.12. Зварювання конструкційних сталей в суміші захисних газів на основі аргону .....	179
9.13. Зварювання порошковим дротом .....	183
9.13.1. Режим зварювання .....	184
9.13.2. Техніка зварювання .....	185
9.14. Зварювання самозахисним дротом .....	185
Контрольні запитання та завдання .....	187

## Розділ 10

**Зварювання під флюсом**

10.1. Галузі застосування та суть зварювання під флюсом .....	188
10.2. Шви зварних з'єднань .....	190
10.3. Підготовка кромки до зварювання .....	192
10.4. Обладнання для напівавтоматичного та автоматичного зварювання .....	192
10.5. Шлангові напівавтомати .....	193
10.6. Зварювальні автомати .....	195
10.6.1. Автоматичні підвісні головки .....	197
10.6.2. Зварювальний автомат АДФ-1250 .....	199
10.7. Режим зварювання під флюсом .....	200
10.7.1. Сила зварювального струму .....	200
10.6.3. Напруга 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 кромки деталей .....	219
11.4. Апарати для електрошлакового зварювання .....	220

11.5. Матеріали та режими зварювання .....	222
11.5.1. Орієнтовні параметри ЕПЗ .....	224
11.6. Техніка зварювання .....	225
11.6.1. Збудження процесу зварювання .....	225
11.6.2. Одержання якісного шва .....	226
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. Електронно-променеве зварювання .....	233
12.3. Лазерне зварювання .....	234
12.4. Термітне зварювання .....	235
12.5. Контактне зварювання .....	236
12.6. Дифузійне зварювання .....	238
12.7. Дугопресове зварювання у магнітному полі (обертвовою 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. Воднево-кисневе зварювання .....	247
12.16. Зварювання електрозаклепками .....	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 легованих 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 термозміцнених сталей і сталей із захисними покриттями .....	270
14.8. Зварювання низьколегованих сталей .....	271
14.9. Зварювання легованих 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 електродами .....	292
16.1.2. Ручне дугове зварювання міді покритими електродами ...	294
16.1.3. Зварювання міді в середовищі захисних газів .....	295
16.1.4. Автоматичне та напівавтоматичне зварювання міді під флюсом .....	297
16.2. Зварювання латуні .....	298
16.2.1. Ручне дугове зварювання латуні покритими електродами ..	298
16.2.2. Зварювання латуні графітовим електродом .....	299
16.2.3. Дугове зварювання латуні вольфрамовим електродом ...	300
16.2.4. Автоматичне й напівавтоматичне зварювання латуні під флюсом .....	300
16.3. Зварювання бронзи .....	300
16.3.1. Зварювання бронзи вугільним електродом .....	302
16.3.2. Зварювання бронзи покритими електродами .....	302
16.3.3. Автоматичне зварювання бронзи плавким електродом під флюсом .....	303
16.4. Зварювання алюмінію та його сплавів .....	303
16.4.1. Ручне дугове зварювання алюмінію покритими електродами .....	305

16.4.2. Аргонодугове зварювання алюмінію вольфрамовим електродом .....	306
16.4.3. Механізоване зварювання алюмінію та його сплавів в аргоні плавкими електродами .....	309
16.4.4. Автоматичне зварювання алюмінію плавким електродом напіввідкритою дугою .....	310
16.4.5. Зварювання алюмінію вугільним електродом .....	310
16.4.6. Плазмове зварювання алюмінію .....	311
16.5. Зварювання титану та його сплавів .....	312
16.5.1. Вимоги до технології складання титанових виробів і присаджувального матеріалу .....	313
16.5.2. Ручне зварювання титану вольфрамовим електродом ...	313
16.5.3. Дугове зварювання титану в інертному газі плавким 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. Аргонодугове зварювання нікелю вольфрамовим електродом .....	319
16.6.2. Ручне дугове зварювання нікелю покритими електродами .....	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 різнорідних металів

17.1. Зварювання тугоплавких металів .....	329
17.2. Зварювання різнорідних металів .....	330
17.2.1. Зварювання з розплавленням з'єднаних поверхонь ...	331
17.2.2. Зварювання з розплавленням легкоплавкішого із з'єднаних металів .....	331
17.2.3. Зварювання металів із розплавленням легкоплавкішого металу та нанесенням покриття на поверхню тугоплавкішого металу .....	331
17.2.4. Зварювання різнорідних металів через проміжні вставки ..	331
17.2.5. Зварювання різнорідних сплавів покритими електродами ..	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 напилення

19.1. Загальні відомості про наплавлення .....	345
19.2. Наплавлювальні матеріали .....	345
19.3. Особливості технології наплавлення металами різних типів ...	348
19.3.1. Наплавлення нелегованих і низьколегованих сталей ...	348
19.3.2. Наплавлення теплостійких інструментальних сталей .....	349
19.3.3. Наплавлення швидкорізальних сталей .....	349
19.3.4. Наплавлення корозієстійких сталей .....	349
19.3.5. Наплавлення високомарганцевих сталей .....	350
19.3.6. Наплавлення хромонікелевих і хромонікелемарганцевих сталей .....	350
19.3.7. Наплавлення високохромистих чавунів .....	351
19.3.8. Наплавлення нікелевих сплавів .....	351
19.3.9. Наплавлення кобальтових сплавів .....	352
19.3.10. Аргонодугове наплавлення прутками із сплаву сормайт .....	352
19.3.11. Наплавлення срібла .....	353
19.4. Техніка наплавлення .....	353
19.5. Види наплавлення .....	354
19.6. Газотермічне напилення .....	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. Балкові й решітчасті конструкції .....	371
20.7.1. Неперервне виробництво зварних балок .....	373
20.7.2. Елементи промислових будівель .....	376
20.8. Решітчасті конструкції .....	377
20.8.1. Щогли і башти .....	382
20.8.2. Мостові конструкції .....	384
20.9. Арматура залізобетону .....	385
20.10. Оболонкові конструкції .....	386
20.11. Вертикальні циліндричні резервуари .....	388
20.12. Сферичні резервуари .....	393

20.13. Посудини, які працюють під тиском. Типи посудин .....	394
20.13.1. Зварювання посудин, які працюють під тиском .....	395
20.14. Трубопроводи, труби. Класифікація.	
Технологія зварювання .....	396
20.14.1. Зварювання труб магістральних трубопроводів .....	400
20.14.2. Зварювання стиків труб .....	402
20.14.3. Ручне дугове зварювання неповоротних стиків магістральних трубопроводів .....	402
20.14.4. Зварювання трубопроводів у 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 неплавкими електродами .....	413
21.4. Повітряно-дугове різання .....	413
21.5. Киснево-дугове різання .....	415
21.6. Дугове різання під флюсом, аргонодугове і різання сталевим диском .....	416
21.7. Плазмово-дугове різання .....	416
21.7.1. Плазмове різання із застосуванням води замість 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 оглядом та обміром .....	434
22.7.1. Контроль вихідних матеріалів, складання та процеси зварювання .....	434
22.7.2. Процес зварювання .....	435
22.7.3. Готові зварні вироби .....	435
22.7.4. Фізичні основи контролю .....	436
22.8. Гідравлічні та пневматичні методи .....	436
22.9. Хімічний метод .....	439
22.10. Галоїдний метод .....	440
22.11. Контроль капілярним методом .....	440

22.12. Контроль магнітними методами .....	442
22.12.1. Магнітопорошковий 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. Металографічні випробування зварних з'єднань .....	450
22.16.1. Макроаналіз .....	451
22.16.2. Мікроаналіз .....	452
22.16.3. Вимірювання 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 електробезпеки .....	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 аерозолей .....	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
-------------------------	-----

*Навчальне 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. Іваненко*

Художнє оформлення *В. С. Мітченка*

Технічний редактор *І. О. Селезнєва*

Коректори *Л. П. Хільченко, Н. 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

Свідцтво про внесення до Державного реєстру України  
суб'єктів видавничої справи ДК № 341 від 21.02.2001 р.

Віддруковано з готових діапозитивів видавництва «Грамота»  
у ВАТ «Харківська книжкова фабрика ім. М. В. Фрунзе»  
вул. Донець-Захаржевського, 6/8, м. Харків, 61057