В.А. Голдобін

Міністерство освіти та науки України
Департамент освіти та науки

Хмельницької обласної державної адміністрації
Державний навчальний заклад
«Ярмолинецький агропромисловий центр професійної освіти»

В.А. Голдобін

Збірник задач (практикум)

для викладачів професійно – теоретичної підготовки

(професія: «Електрогазозварник»)

смт. Ярмолинці

2023 р.

Теоретичні завдання для виконання та розв'язування задач з дисципліни «ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ»

ЗМІСТ

Вступ……...1-3

1. Режим зварювання……4-6

2. Іонізуюча дія матеріалів електродних покриттів і флюсів…….7-10

3. Властивості зварювальної дуги……..11-13

4. Зварювальні властивості і теплова потужність дуги…….....14-18

5. Оцінка ефективності зварювальних процесів……...……19-22

6. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення, продуктивність зварювання та втрати на чад і розбризкування……..23-29

7. Виготовлення електродів та розрахунок складу зварного шва….30-35

8. Розрахунок основного металу в розрізі шва…….……36-40

9. Зварювання легованих і високолегованих сталей…….41-45

10.Режимироботи джерел живлення……...……46-47

11. Класифікація та умовні позначення покритих електродів……..…48-51

12. Додатки…….....52-60

Використана література…….....61

ВСТУП

Якісна підготовка кваліфікованних робітників потребує творчого підходу викладачів професійно – теоретичної підготовки навчальних закладів до вибору змісту форм, методів та засобів навчання, максимального використання досягнень сучасної\ педагогичної науки, нових педагогічних і виробничих технології, які мають бути орінтованими не лише на передачу готових знань, а й відоброжати ідей розуміння та визнання чужої точки зору, повагу до особистості, організації співпраці та самовираження в діяльності, в творчости, тобто на формування комплексу особистіних якостей учнів. Нині розроблено велику кількість технологгій навчання, що спонукає до теоретичного узагальнення, аналлізу, класифікації та вибору оптимизації.

Таким чином, актуальність проблеми вдосконалення, навчально-виховного процесу професійної підготовки майбутніх кваліфікованих робітників,її недостатня теоретична розробленість та потреби практики зумовими вибір написання даного практикума.

Сучасним учням не так треба подати тему як навчити осмислювати її, а вони вже потим шукатимуть інформацію, яка допоможе реализувати проблему. Отож, повернути учням інтерес до навчання спеціальних предметів, зробити навчання цікавим, посилити бажання учитися спонукав до пошуків розвязання задач з застосуванням інноваційних технології

Метою рішення задач є закріплення учнями теоретичних знань з дисципліни «Обладнання та технологія зварювальних робіт» і отримання ними навиків самостійного рішення професійних задач в області зварювального виробництва. Всі рішення учнів повинні базуватися по можливості на сучасних досягненнях вітчизняної і світової науки, попередніх досвідах підприємств та організацій, які при виробництві продукції використовують зварювальну технологію.

Відомо, що виконання технологічного процесу виготовлення кожного зварного виробу може бути реалізовано за наявністю відповідних кадрів, обладнання та відпрацьованих технологій. При цьому інженерно-технічному персоналу підприємств та організацій, необхідно кваліфіковано призначати технологію зварювання та виконувати професійні розрахунки параметрів режиму зварювання з метою забезпечення формування якісних з’єднань.

У методичних вказівках надана інформація, яка дозволяє учням вести розрахунки технічних параметрів зварювальних процесів для різних способів зварювання, при цьому кожна тема закінчується контрольними питаннями. Все це дає можливість не допускати помилки у призначенні технологічних режимів і звести до мінімуму виготовлення неякісних виробів.

Під час виконання задач учням необхідно користуватися додатковою літературою: монографіями та довідниками, навчальними посібниками та спеціалізованими журналами.

Деякі довідкові дані, які необхідні для виконання розрахункових задач, надані в додатках до цих методичних вказівок.

РОЗДІЛ І
РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ

Режими зварювання в різних положеннях

Форми і розміри шва визначаються режимом зварювання. При ручному дуговому зварюванні основними параметрами режима є:

1. Діаметр електрода (мм)
2. Величина струму (А)
3. Полярність струму

Вибір діаметра електроду від товщини металу при зварюванні в нижньому положенні

Товщина металу , мм	0,5-1,5	1,5-3	3-5	6-8
Діаметр електроду, мм	1,5-2	2-3	3-4	4-5

Величина зварювального струму може бути визначена по формулі орієнтовна.

$$I_{зв.} = K \cdot d_{ел.}$$

де К – коефіцієнт, залежить від діаметра електрода і віда покриття.
d ел. – діаметр електрода (мм)

d електрода(мм)	1-2	3-4	5-6
К А/мм	25-30	30-45	45-60

При виконанні вертикальних швів зварювальний струм в порівнанні з нижнім положенням зменьшують на 10-15%, а при стельовому – 15-20%.

Допустима густина струму А/мм. в електроді залежить від покриття.

Від покриття	Діаметр електрода, (мм)			
	3	4	5	6
Кисле (А), Рутилове(Р)	14-20	11,5-16	10-13,5	9-12
Основне (Б)	12-18,5	10-14,5	9-12	8-12

Зварювальний струм залежить також від виду зварювального з'єднання: таврове і унапуск виконують підвищеним струмом в порівнянні зі стиковим.

Рішення задач. Варіант.

а) Визначити величину струму при коефіцієнті:
27; 29 ; 32; 34; 30; 38; 40; 45; 47; 52; 55; 60:
Вибір діаметр електрода згідно таблиці
б) Визначити величину струму при зварюванні вертікального шва.
Діаметр електрода – 2мм
-3мм
-4мм
в) Визначити величину струму при зварюванні стельового шва.
Діаметр електрода -3мм
-4мм
-5мм
-6мм
Вибір покриття згідно таблиці
г) Визначити величину струму при зварюванні в нижньому положенні шва.
Товщина металу -2мм
-4мм
-5мм
-6мм
-8мм
-10мм

Визначення основного часу

Визначити витрачений час, при зварюванні 1 м. шва (хв.)

$$t_{зв.} = K \cdot S \text{ (хв.)}$$

де S - товщина зварювального металу, (мм.)
К -коефіцієнт, який залежить від типу зварного з'єднання, виду шва і зварювального металу. В середньому від 2,0 до 5,0

Варіанти рішення задач

Визначити час при зварюванні -20м.
-12м.
-4,5м.
-3м.
-7,8м.
-1,4
-0,9
Вибір коефіцієнта самостійно

РОЗДІЛ ІІ
ІОНІЗУЮЧА ДІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТІВ І ФЛЮСІВ

7
ІОНІЗУЮЧА ДІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТТІВ І ФЛЮСІВ

У газах при температурі порядку 1400°С з'являються позитивно і негативно заряджені іони, які є провідником електричного струму.

Виникнення дуги обумовлене емісією електронів з катода і іонізацією в дуговому проміжку між електродами. Виділення електронів з поверхні катода досягається за рахунок термоелектронної, автоелектронної емісії і емісії в результаті ударів позитивних іонів по ньому. Іонізацію дугового проміжку викликають наступні чинники: нагріваюча (термічна) іонізація, опромінювання (фотоіонізація), зіткнення.

Іонізація зіткненням полягає в тому, що електрони, рухаючись з великою швидкістю, зустрічаючись з нейтральними атомами газу, зіштовхуючись з ними, вибивають електрони і цим іонізують атоми. Кількість енергії, яку необхідно витратити для відриву електрона від атома, називають роботою іонізації eU, величина якої буде різною для різних елементів. Роботу іонізації при розрахунках необхідної швидкості електрона прийматимемо рівною потенціалу іонізації елемента, вираженому у вольтах.

Знаючи, що на підставі закону збереження енергії, приріст кінетичної енергії електрона $m\upsilon^2/2$ повинно дорівнювати роботі, витрачений на переміщення електрона, виражене наступним рівнянням:

$$m\upsilon^2/2 = eU_i \qquad (1)$$

де m - маса електрона ($9{,}1\times10^{-31}$), *кг*;

υ - швидкість електрона, *км/с*;

e - заряд електрона ($1{,}6\times10^{-19}$), *кл*;

U_i - різниця потенціалів на ділянці шляху, пройденому електроном, *В*- потенціал іонізації.

Визначаючи з рівняння (1) швидкість електрона, отримаємо:

$$\upsilon = \sqrt{2\frac{e}{m}U_з}. \qquad (2)$$

Підставляючи в це рівняння значення e/m, отримаємо $\upsilon = 600\sqrt{U_з}$ *км/с*.

Для стабільного горіння дуги необхідно, щоб в її стовпі весь час знаходилися заряджені частинки, кількість яких зменшується внаслідок рекомбінації. Іонізуюча дія

матеріалів визначається не тільки величиною потенціалу іонізації, але і пружністю, оскільки пружність пари визначає швидкість випаровування і тим самим концентрацію легкоіонізуючихся атомів в стовпі дуги.

Температура стовпа дуги залежить від ефективного потенціалу іонізації газів, що заповнюють дуговий проміжок, струму в електроді, напруженості поля, полярності та густини.

Для наближених розрахунків температури стовпа дуги приручному зварюванні покритими електродами користуються наступним рівнянням:

$$T_{ст} = 810\ U_{i.\ еф.}, \qquad (3)$$

де $T_{ст}$ - температура стовпа дуги, *К*;

$U_{i.\ еф.}$ - ефективний потенціал іонізації, *В*.

Введення до складу електродних покриттів і флюсів елементів з низьким потенціалом іонізації сприяє швидкому запаленню і стійкому горінню зварювальної дуги за рахунок зниження ефективного потенціалу іонізації газової суміші.

Понтенціали деяких елементів див. у додатку 17.

Типові задачі з рішенням

Задача 1. Визначте швидкість електронів, необхідну для іонізації зіткненням атомів натрію, якщо $U_{i.\ Na}$ = 5,1 *В*.

Рішення

Швидкість електронів визначається за формулою $\upsilon = 600\sqrt{U_з} = 600\sqrt{5{,}1} = 1350$ *км/с*.

Відповідь: υ_{Na} = 1350 *км/с*.

Задача 2. Визначте ефективний потенціал іонізації газу якщо температура стовпа дуги рівна 4413 *К*.

Рішення

З формули (3) визначається $U_{з.еф.} = \frac{Т_{ст}}{810} = \frac{4413}{810} = 5{,}46$ *В*.

Відповідь: $U_{з.еф.} = 5{,}46$ *В*.

Задача 3. Визначте температуру стовпа дуги, що горить в парах кальцію і гелію, якщо $U_{i.\,Ca} = 6{,}1$ *В*, $U_{i.\,He} = 24{,}5$ *В*.

9

Рішення

Температуру стовпа дуги визначається з формули $T_{ст} = 810 \cdot U_{i.} = 810\ U_{i.\,Ca} = 810 \cdot 6{,}1 = 4941$ *К*,

$T_{ст} = 810\ U_{i.\,He} = 810 \cdot 24{,}5 = 19845$ *К*.

Відповідь: $T_{ст.\,Ca} = 4941$ *К*, $T_{ст.\,He} = 19845$ *К*.

Задача 4. Визначте температуру стовпа дуги, що горить в газовій суміші пари, що складається із 5% калію і 95% заліза ($U_{з.еф.} = 5{,}46$ *В*.), із 50% калію і 50% заліза ($U_{i.еф.} = 4{,}61$ *В*).

Рішення

Температуру стовпа дуги, що горить в газовій суміші пари, що полягає із 5% калію і 95% заліза ($U_{i.еф.} = 5{,}46$ *В*.), визначається за формулою $T_{ст} = 810\ U_{i.\,еф.} = 810 \cdot 5{,}46 = 4413$*К*; із 50% калія і 50% заліза ($U_{i.еф.} = 4{,}61$ *В*.), $T_{ст} = 810 \cdot 4{,}61 = 3734$ *К*.

Відповідь: $T_{ст} = 4413$ *К*, $T_{ст} = 3734$ *К*.

Контрольні задачі з використанням додатка 17

Номер варіанту	**Задача 1.** Визначте швидкість електронів, необхідну для іонізації зіткненням атомів:	**Задача 2.** Визначте ефективний потенціал іонізації газу якщо температура стовпа дуги рівна:	**Задача 3.** Визначте температуру стовпа дуги, що горить в парах:	**Задача 4.** Визначте температуру стовпа дуги, що горить в газовій суміші пари, що складається із калію (%) і заліза (%):
1	*K*	11745 *K*	*K* і *N*	10 і 90
2	*Ba*	10959,3 *K*	*Ba* і *H*	20 і 80
3	*Li*	9088,2 *K*	*Li* і *C*	30 і 70
4	*AI*	5994 *K*	*AI* і *Mn*	40 і 60
5	*Cs*	5459,4 *K*	*Ca* і *Cr*	15 і 85
6	*Cr*	3078 *K*	*Cr* і *AI*	25 і 75
7	*Mn*	4827,6 *K*	*Mn* і *Ca*	35 і 65
8	*C*	4349,7 *K*	*C* і *K*	45 і 55
9	*H*	4203,9 *K*	*H* і *Li*	55 і 45
10	*N*	3499,2 *K*	*N* і *Ba*	7 і 93

Контрольні питання

1. Що таке електронна емісія?

2. Що представляє собою потенціал іонізації, робота виходу і якій їх вплив вони здійснюють на умови горіння дуги.

3. Які елементи сприяють збільшенню обривної довжини дуги і чому?

4. Що прийнято розуміти під ступенем іонізації і ефективним потенціалом іонізації?

5. Як підвищують стійкість горіння дуги?

РОЗДІЛ III
ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

Стійкість зварювальної дуги і можливість напряму її в певне місце при зварювані постійним струмом, залежать від напряму дії результуючого магнітного поля навколо дуги. Це часто викликає відхилення дуги від нормального положення це явище називають *магнітним дуттям*.

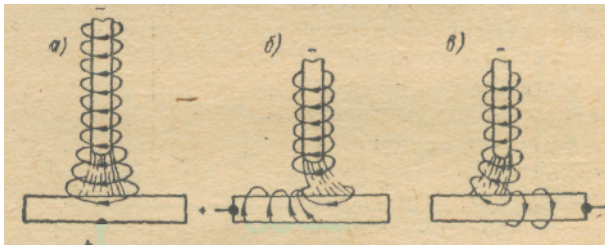


Рис. 1. Вплив положення електрода на відхилення дуги; а - струмопідвід співпадає з віссю дуги; б - струм до виробу підведений зліва від дуги; в - струм до виробу підведений праворуч від дуги

Стовп зварювальної дуги можна розглядати як гнучкий провідник електричного струму, який, як і звичайний провідник із струмом, під впливом магнітного поля відхиляється у бік найменшого згущування магнітних силових ліній.

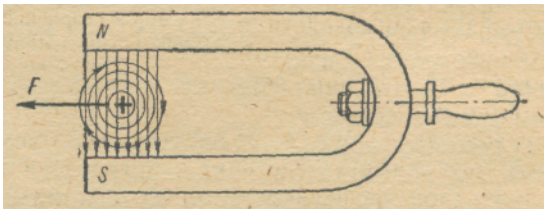


Рис. 2. Відхилення дуги залежно від напрямку струму або розташування підковоподібного магніту

Розглянемо вплив постійного струму різних магнітних полів і феромагнітних мас на зварювальну дугу. Електрична дуга при дії власного магнітного поля відхилятиметься залежно від місця підключення до виробу струмопідвіду у бік відхилення магнітних силових ліній (*рис. 1, а, б, в*). В результаті взаємодії магнітного поля стовпа дуги з поперечним магнітним полем, дуга відхилятиметься у бік найменшої магнітної індукції (*рис. 2*).

На дугу також робить вплив подовжнє магнітне поле соленоїда, паралельне осі стовпа дуги і електричному полю. Таке магнітне поле не впливає на заряджені частинки, рухомі у напрямі електричного поля, але на заряджені частинки, що переміщаються в поперечному напрямі цього поля, воно робить помітний вплив. Оскільки температура центральної частини стовпа дуги вище периферійної, то дифузія частинок починається у напрямку меншої температури по радіусу.

Рис. 3. Схема дії сил на іон в зварювальній дузі при наявності поперечного магнітного поля

При русі в радіальному напрямку, заряджені частинки перетинають магнітне поле, яке взаємодіє з ним, створює силу F'' (*мал. 3*), яка діє на частинки перпендикулярно до магнітного поля. В результаті частинки стовпа дуги обертатимуться по колу, крім того на них діє і подовжнє електричне поле, під дією якого частинки переміщаються по вертикалі у напрямку сили F'. Таким чином, сумісна дія подовжнього магнітного і електричного полів примушує заряджені частинки рухатися по спіралі під дією сили F. Виникаюча при цьому доцентрова сила стягує стовп до вертикальної осі.

Дія феромагнітних мас на відхилення дуги обумовлена тим, що магнітна проникність їх в тисячі разів більше магнітної проникності повітря. Таким чином магнітні силові лінії прагнуть замкнутися по шляху найменшого опору. Концентричне магнітне поле навколо дуги спотвориться, і вона виявиться притиснутим до феромагнітного тіла.

У разі зварювання на змінному струмі, магнітне дуття буде значно менше або зовсім непомітне. Це відбувається з тієї причини, що змінюється по величині і напряму магнітний потік дуги. Проникаючи через феромагнітні маси, наводить в ній вихрові струми, що створюють власне магнітне поле, направлене проти магнітного поля зварювального струму.

Контрольні питання

1. Що називається зварювальною дугою? Які процеси відбуваються на окремих її ділянках?

2. Як впливає струм на зварювальну дугу?

3. Як впливає на дугу сторонні поперечне і подовжнє магнітні поля?

4. Чому зварювальна дуга притягується до феромагнітної маси?

5. Що таке магнітне дуття?

6. Яким способом можна послабити дію магнітного дуття?

РОЗДІЛ IV
ЗВАРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ І ТЕПЛОВА ПОТУЖНІСТЬ ДУГИ

ЗВАРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ І 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. Частка електричної енергії витрачається на нагрівання навколишнього середовища.

Повна теплова потужність дуги залежить від величини зварювального струму та напруги дуги:

$$Q = I_{çâ} U_{ä}, \qquad (4)$$

де Q - повна теплова потужність дуги, $Вт$; $I_{зв}$ - сила зварювального струму, $А$; $U_{д}$ - напруга дуги, $В$.

Теплота, яка безпосередньо вводиться у виріб, називається ефективною тепловою потужністю дуги:

$$q_{åô} = I_{çâ} U_{ä} \eta_{å}, \qquad (5)$$

де $q_{еф}$ - ефективна теплова потужність дуги, $Вт$; $\eta_{е}$ - ефективний коефіцієнт корисної дії нагрівання виробу дугою.

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

$$\eta_{å} = \frac{q_{åô}}{Q}. \qquad (6)$$

Залежно від способу зварювання, марки електрода, флюсу, типу зварного з'єднання, швидкості зварювання, виду струму та його полярності, ефективний коефіцієнт корисної дії становить $\eta_{е}$:

- 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*:

$$q_n = \frac{q_{äô}}{V_{çâ}} = \frac{I_{çâ} U_ä \eta_å}{V_{çâ}}, \qquad (7)$$

де $q_{еф}$ – ефективна теплова потужність дуги, *Вт;* $V_{зв}$ - швидкість зварювання, *см/с*.

Чим вище погонна енергія, тим сильніше прогрівається метал шва. Із збільшенням швидкості зварювання нагрівання металу зменшується.

Типові задачі з рішенням

Задача 1. Визначте ефективну теплову потужність дуги, якщо зварювання виконується покритими електродами на таких режимах: $U_д$ = 28 *В*, $I_{зв}$ = 240*А* і η = 0,7.

Рішення

1. За формулою (4) розраховується повна теплова потужність Q = 240·28 = 6720 *Вт*.

2. За формулою (6) визначається ефективна теплова потужність $q_{еф} = Q\eta$ = 6720·0,7 = 4704 *Вт*.

Відповідь: $q_{еф}$ = 4704 *Вт*.

Задача 2. Визначте силу струму, який протікає по зварювальному ланцюгу, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна $q_{еф}$ = 2268 *Вт*, $U_д$ = 30*В*, η = 0,9.

Рішення

1. З формули (5) розраховується сила струму, яка протікає по зварювальному ланцюгу $I_{çâ} = q_{äô} / U_ä \eta_å$ = 2268 / 30·0,9 = 350 *А*.

Відповідь: $I_{зв}$ = 350 *А*.

Задача 3. Визначте ефективну теплову потужність дуги при зварюванні неплавким електродом в аргоні, якщо теплова потужність дуги $Q =$ 4000 *Вт*, $\eta = 0{,}5$.

Рішення

1. З формули (5) розраховується ефективну теплову потужність дуги $q_{еф} = Q\,\eta =$ $4000 \cdot 0{,}5 = 2000$ *Вт*.

Відповідь: $q_{еф} = 2000$ *Вт*.

Задача 4. Визначте напругу дуги, який протікає по зварювальному ланцюгу, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна $q_{еф} = 8268$ *Вт*, $I_{зв} = 350A$, $\eta = 0{,}9$.

16

Рішення

1. З формули (5) розраховується напруга дуги, яка протікає по зварювальному ланцюгу $U_{д} = q_{еф} / I_{зв}\eta_{е} = 8268 / 350 \cdot 0{,}9 = 26{,}24$ *В*.

Відповідь: $U_{д} = 26{,}24$ *В*.

Задача 5. Визначте кількість тепла, що вноситься дугою у виріб на одиницю довжини шва, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна $q_{еф} = 2268$ *Вт*, $V_{зв} =$ 0,4 *см/с*.

Рішення

1. З формули (7) розраховується кількість тепла, що вноситься дугою у виріб на одиницю довжини шва $q_{п} = \dfrac{q_{еф}}{V_{зв}} = \dfrac{2268}{0{,}4} = 5670$ *Вт/см*.

Відповідь: $q_{п} = 5670$ *Вт/см*.

Контрольні задачі

Номер варіанту	**Задача 1.** Визначте ефективну теплову потужність дуги, якщо зварювання виконується покритими електродами на таких режимах:	**Задача 2.** Визначте силу струму, який протікає по зварювальному ланцюгу, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна:	**Задача 3.** Визначте ефективну теплову потужність дуги при зварюванні неплавким електродом в аргоні, якщо теплова потужність дуги:	**Задача 4.** Визначте напругу дуги, який протікає по зварювальному ланцюгу, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна:	**Задача 5.** Визначте кількість тепла, що вноситься дугою у виріб на одиницю довжини шва, якщо ефективна теплова потужність дуги рівна:
1	$U_д = 26$ *В*, $I_{зв} = 220A$ і $\eta = 0{,}7$	$q_{еф} = 2368$ *Вт*, $U_д = 26B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3500$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2268$ *Вт*, $I_{зв} = 220A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2268$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
2	$U_д = 24$ *В*, $I_{зв} = 200A$ і $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2468$ *Вт*, $U_д = 24B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3900$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2268$ *Вт*, $I_{зв} = 200A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2268$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
3	$U_д = 22$ *В*, $I_{зв} = 215A$ і $\eta = 0{,}7$	$q_{еф} = 2568$ *Вт*, $U_д = 22B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3800$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2568$ *Вт*, $I_{зв} = 215A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2568$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
4	$U_д = 20$ *В*, $I_{зв} = 195A$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2168$*кал/с*, $U_д = 20B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3700$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2168$ *Вт*, $I_{зв} = 195A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2168$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
5	$U_д = 18$ *В*, $I_{зв} = 190A$, $\eta = 0{,}7$	$q_{еф} = 2258$ *Вт*, $U_д = 18B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3600$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2258$ *Вт*, $I_{зв} = 190A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2258$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
6	$U_д = 27B$, $I_{зв} = 180A$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2248$ *Вт*, $U_д = 27B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3400$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2248$ *Вт*, $I_{зв} = 180A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2248$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
7	$U_д = 25$ *В*, $I_{зв} = 175A$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2238$ *Вт*, $U_д = 25B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3300$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2238$ *Вт*, $I_{зв} = 175A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2238$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
8	$U_д = 23$ *В*, $I_{зв} = 170A$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2228$ *Вт*, $U_д = 23B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3200$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2228$ *Вт*, $I_{зв} = 170A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2228$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*
9	$U_д = 21$ *В*, $I_{зв} = 165A$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2218$ *Вт*, $U_д = 21B$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3100$ *Вт*, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2218$ *Вт*, $I_{зв} = 165A$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2218$ *Вт*, $V_{зв} = 0{,}4$*см/с*

10	$U_д = 19\ В$, $I_{зв} = 160А$, $\eta = 0{,}8$	$q_{еф} = 2200\ Вт$, $U_д = 29В$, $\eta = 0{,}9$	$Q = 3000\ Вт$, $\eta = 0{,}5$	$q_{еф} = 2200\ Вт$, $I_{зв} = 160А$, $\eta = 0{,}9$	$q_{еф} = 2200\ Вт$, $V_{зв} = 0{,}4 см/с$

Контрольні питання

1. Що таке електрична і теплова потужність.
2. Що таке ефективна теплова потужність дуги і що характеризує ККД зварювальної дуги?
3. Що таке тепловий баланс дуги і величина ККД для основних способів дугового зварювання плавленням?
4. Як практично визначається ККД зварювальної дуги?

РОЗДІЛ V
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

19

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

Всі процеси зварювання металів здійснюються за рахунок введення термічної або механічної енергії, або тій і іншій одночасно. Основними критеріями вибору зварювального процесу для виготовлення конкретного виробу є: технічна можливість застосування процесу; якість отримуваного з'єднання; енергетична і економічна ефективності процесу. Щоб знайти оптимальне рішення, необхідно проаналізувати тільки останні критерії, оскільки виконання перших два є обов'язковим. Для порівняльної оцінки різних видів зварювання доцільно застосовувати питомі показники ефективності. Підрахунок питомих витрат енергії, праці або засобів на одиницю площі з'єднання, дає можливість отримати універсальні критерії ефективності будь-якого способу.

Енергетична ефективність визначається загальними витратами енергії з розрахунку на одиницю площі з'єднання.

Загальна питома енергія (*Дж/мм*^{2})

$$\varepsilon_{Ç} = \varepsilon_{ÇÂ} + \varepsilon_{ÄÎ} \quad , \qquad (8)$$

де $\varepsilon_{ÇÂ}$ - витрата енергії на зварювання, *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ - витрата енергії на допоміжні операції, *Дж/мм*^{2}.

Питома енергія, що витрачається на зварювання

$$\varepsilon_{ÇÂ} = Q / \upsilon\delta \quad , \qquad (9)$$

де Q - повна теплова потужність, *Дж/с*; υ - швидкість зварювання, *мм/с*; δ - товщина зварюваного металу, *мм*.

Питома енергія, введена в заготівку (*Дж/мм*^{2})

$$\varepsilon_{Ç} = \varepsilon_{ÇÂ}\eta \quad , \qquad (10)$$

де η - ефективний ККД процесу нагріву.

Економічна ефективність оцінюється продуктивністю процесу і питомими витратами на 1 *м* довжини шва, або на 1*кг* наплавленого металу.

Порівняння ефективності різних зварювальних процесів показує, що процеси зварювання плавленням більш енергоємні, ніж механічні і термомеханічні. Наприклад, для виконання стикового з'єднання сталевих стрижнів діаметром 20 *мм* дуговим зварюванням, потрібно питома енергія, рівна 1800 *Дж/мм*^{2}, а для контактного стикового зварювання оплавленням - близько 400 *Дж/мм*^{2}, для зварюванням тертям - приблизно 130 *Дж/мм*^{2}.

Типові задачі з рішенням

Задача 1. Визначити енергетичну ефективність із загальними витратами енергії з розрахунку на одиницю площі з'єднання, якщо відомо $\varepsilon_{ÇÂ}$ = 400 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 350 *Дж/мм*^{2}.

Рішення

1. З формули (8) розраховується загальна питома енергія, $\varepsilon_{Ç} = \varepsilon_{ÇÂ} + \varepsilon_{ÄÎ} = 400 + 350 = 750$ *Дж/мм*^{2}.

Відповідь: $\varepsilon_{Ç} = 750$ *Дж/мм*^{2}.

Задача 2. Визначити питому енергію яка витрачається на зварювання, якщо відомо $Q = 1800$ *Дж/с*; $\upsilon = 2$ *мм/с*; $\delta = 5$ *мм*.

Рішення

1. З формули (9) розраховується питома енергія, яка витрачається на зварювання, $\varepsilon_{ÇÂ} = Q/\upsilon\delta = \frac{1800}{2 \cdot 5} = 180$ *Дж/мм*^{2}.

Відповідь: $\varepsilon_{ÇÂ} = 180$ *Дж/мм*^{2}.

Задача 3. Визначити питому енергію, введена в заготівку, якщо відомо $\varepsilon_{ÇÂ} = 900$ *Дж/мм*^{2}; $\eta = 0{,}5$.

Рішення

1. З формули (10) розраховується питома енергія, введена в заготівку, $\varepsilon_{Ç} = \varepsilon_{ÇÂ}\eta = 900 \cdot 0{,}5 = 450$ *Дж/мм*^{2}.

Відповідь: $\varepsilon_{З} = 450$ *Дж/мм*^{2}.

Контрольні задачі

Номер варіанту	**Задача 1.** Визначити енергетичну ефективність із загальними витратами енергії з розрахунку на одиницю площі з'єднання, якщо відомо:	**Задача 2.** Визначити питому енергію яка витрачається на зварювання, якщо відомо:	**Задача 3.** Визначити питому енергію, введена в заготівку, якщо відомо
1	$\varepsilon_{ÇÂ} = 450$ *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ} = 350$ *Дж/мм*^{2}	$Q = 1800$ *Дж/с*; $\upsilon = 2$ *мм/с*; $\delta = 5$ *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ} = 900$ *Дж/мм*^{2}; $\eta = 0{,}5$.
2	$\varepsilon_{ÇÂ} = 500$ *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ} = 400$ *Дж/мм*^{2}	$Q = 1750$ *Дж/с*; $\upsilon = 2$ *мм/с*; $\delta = 4$ *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ} = 1000$ *Дж/мм*^{2}; $\eta = 0{,}6$.
3	$\varepsilon_{ÇÂ} = 550$ *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ} = 450$ *Дж/мм*^{2}	$Q = 1700$ *Дж/с*; $\upsilon = 2$ *мм/с*; $\delta = 5$ *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ} = 1100$ *Дж/мм*^{2}; $\eta = 0{,}65$.
4	$\varepsilon_{ЗВ} = 400$ *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ} = 350$ *Дж/мм*^{2}	$Q = 1650$ *Дж/с*; $\upsilon = 2$ *мм/с*; $\delta = 3$ *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ} = 1200$ *Дж/мм*^{2}; $\eta = 0{,}70$.

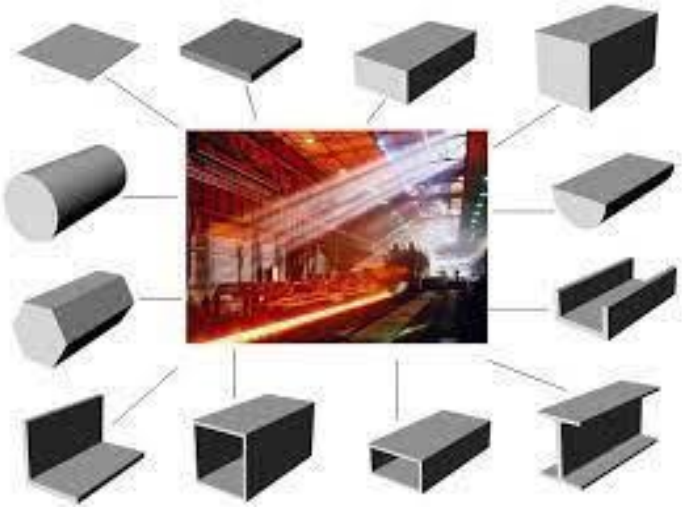
5	$\varepsilon_{ÇÂ}$ = 600 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 400 *Дж/мм*^{2}	Q = 1600 *Дж/с*; υ =3 *мм/с*; δ= 2 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 1300 *Дж/мм*^{2}; η = 0,75.
6	$\varepsilon_{ÇÂ}$ = 650 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 450 *Дж/мм*^{2}	Q = 1850 *Дж/с*; υ =3 *мм/с*; δ= 3 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 900 *Дж/мм*^{2}; η = 0,8.
7	$\varepsilon_{ÇÂ}$ = 700 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 350 *Дж/мм*^{2}	Q = 1900 *Дж/с*; υ =2 *мм/с*; δ= 4 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 950 *Дж/мм*^{2}; η = 0,55.
8	$\varepsilon_{ÇÂ}$ = 750 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 400 *Дж/мм*^{2}	Q = 1870 *Дж/с*; υ =2 *мм/с*; δ= 5 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 920 *Дж/мм*^{2}; η = 0,5.
9	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 800 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ДО}$ = 350 *Дж/мм*^{2}	Q = 1800 *Дж/с*; υ =2 *мм/с*; δ= 4 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 1050 *Дж/мм*^{2}; η = 0,6.
10	$\varepsilon_{ÇÂ}$ = 850 *Дж/мм*^{2}; $\varepsilon_{ÄÎ}$ = 450 *Дж/мм*^{2}	Q = 1800 *Дж/с*; υ =2 *мм/с*; δ= 3 *мм*.	$\varepsilon_{ЗВ}$ = 1150 *Дж/мм*^{2}; η = 0,65.

Контрольні питання

1. Поняття економічної ефективності і як вона оцінюється продуктивністю процесу?
2. Для чого використовують порівняння ефективності різних зварювальних процесів?

РОЗДІЛ VI

КОЕФІЦІЄНТИ РОЗПЛАВЛЕННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗВАРЮВАННЯ ТА ВТРАТИ НА ЧАД І РОЗБРИЗКУВАННЯ



На продуктивність процесу електричного дугового зварювання впливають наступні чинники: 1) зварювальний струм $I_{зв}$; 2) коефіцієнт розплавлення $\alpha_р$; 3) коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$, який зазвичай менше $\alpha_р$, оскільки не весь розплавлений електродний метал переходить в шов: частина його вигоряє, розбризкується.

Величина втрат металу на чад і розбризкування, а також значення коефіцієнтів плавлення і наплавлення залежать від зварювального струму. Збільшення струму призводить до підвищення температури дуги, тобто до інтенсивності розплавлення електроду і прискорення протікання хімічних процесів.

Отже, із збільшенням струму $\alpha_р$ збільшуються $\alpha_н$, але на різні величини, оскільки збільшення температури дуги приводить до збільшення кількості газів, що утворюються, підвищення їх тиску в краплі, а отже, до підвищення втрат на чад і розбризкування.

На величину $\alpha_р$ і $\alpha_н$, на втрати від чаду і розбризкування, впливають кількість тих або інших домішок в електродному металі, покритті, а також температура стрижня електроду.

У початковий момент зварювання швидкість плавлення електродного металу невелика, але у міру розігріву електроду теплом що виділяється, швидкість його плавлення збільшиться в два рази. При цьому збільшуються $\alpha_р$ і $\alpha_н$, а втрати ж на чад і розбризкування практично не змінюються. Нормальна якість наплавлення або шва буде забезпечена, якщо швидкість плавлення електроду на початку відрізнятиметься від швидкості в кінці не більше ніж на 30%. Тепло визначається рівнянням:

$$Q = I_{çâ}^2 Rt \qquad (11)$$

де R – опір провідника; t – час горіння дуги.

Продуктивністю розплавленого електрода називають масу розплавленого електродного металу за одиницю часу. Її визначення :

$$G_р = \alpha_р I_{çâ} t \, , \qquad (12)$$

де G_p - продуктивність розплавлений, *г/год*; α_p - коефіцієнт розплавлення електрода, *г/А·год*; $I_{зв}$ - сила зварювального струму, *А*.

Коефіцієнтом *розплавлення* електродного металу називають масу розплавленого електродного металу за одну годину, яка припадає на один ампер зварювального струму. Її визначають: $\alpha_p = G_\partial / I_{çâ} t$, *г/А·год*.

Коефіцієнт залежить від типу покриття, виду, полярності й густини струму, способу зварювання і становить 7 ÷ 22 *г/А·год*.

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

$$G_i = \alpha_i I_{çâ} t, \qquad (13)$$

де $G_н$ - продуктивність наплавлення, *г/год*; $\alpha_н$ - 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. Її визначають: $\alpha_i = G_i / I_{çâ} t$, *г/А·год*.

Він менший за коефіцієнт розплавленя на величину втрат електродного металу. Коефіцієнт, який характеризує втрати розплавленого металу, визначають за формулою:

$$\Psi = \frac{\alpha_\partial - \alpha_i}{\alpha_\partial} \cdot 100\%, \qquad (14)$$

де ψ - коефіцієнт втрат електродного металу, який становить 3÷20%.

Коефіцієнт *розплавлення* товстопокритих електродів значно зменшується в порівнянні з коефіцієнтом голих і тонкопокритих електродів, за рахунок того, що деяка кількість тепла дуги витрачається на плавлення і випаровування покриття, але прямої залежності α_p від товщини покриття немає.

Коефіцієнт втрат ψ товстопокритих електродів зменшується в порівнянні з коефіцієнтом голих електродів, за рахунок того, що матеріали покриття при випаровуванні дають додаткову кількість газу, яка захоплює за собою в шов пари металу і дрібні краплі.

Коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$ електродів з товстим покриттям зазвичай менше коефіцієнта розплавлення, за винятком тих випадків, коли в покриття входить велика кількість металевих складових.

На величину $\alpha_р$ і $\alpha_н$ роблять вплив також полярність струму, тип з'єднання, положення шва в просторі і т. п. Встановлено, що вид зварювального струму істотно не впливає на величину $\alpha_р$ і $\alpha_н$.

З переходом на змінний струм в деякій мірі коефіцієнт втрат зменшується, але продуктивність практично не змінюється.

Дослідження довели, що коефіцієнти $\alpha_р$, $\alpha_н$ і ψ матимуть різну величину (за інших рівних умов) при зварюванні електродами різних марок.

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

Значення коефіцієнтів розплавлення й наплавлення використовують для нормування витрат електродів і часу зварювання.

Значення коефіцієнта наплавлення береться з паспорта на дану марку електрода або з довідників. Значення цього коефіцієнта для деяких марок електродів загального призначення при зварюванні вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей приведені в додатку 9.

Знати величину коефіцієнта наплавлення дуже важливо для нормування зварювальних робіт. Позначимо через υ – швидкість зварювання, *см/годину*; F – площа поперечного перетину шва, *см*^{2}. Визначення швидкість зварювання підраховують за формулою:

$$\upsilon = \frac{\alpha_i I_{çâ}}{\rho \cdot F}, \qquad (15)$$

де ρ – визначає густину 1$см^3$ наплавленого металу для (сталі ρ = 7,85$г/см^3$).

Отже, швидкість зварювання буде тим вище, чим вище коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$ і чим більша сила струму $I_{зв}$.

Коефіцієнт наплавлення деяких марок електродів для зварювання сталей, приведено додатку 9.

Типові задачі з рішенням

Задача 1. Визначити кількість розплавленого металу, якщо зварювання виконується електродами УОНІ-13/45 при силі струму $I_{зв}$ = 160 *А*, час зварювання t = 0,32 *год* і $\alpha_р$ = 8,5 *г/А·год*.

Рішення

Вага розплавленого металу визначається з формули (12) $G_р = \alpha_р I_{çâ} t$. Отже, $G_р$ = 8,5·160·0,32 = 435 *г*.

Відповідь: $G_р$ = 435 *г*.

Задача 2. Визначити кількість наплавленого металу, якщо зварювання виконується електродами ЦМ-7; $I_{зв}$ = 140 *А*; час зварювання t = 0,02 *год*.; коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$ = 10,6 *г/А·год*.

Рішення

Вага наплавленого металу визначається за формулою (13) $G_і = \alpha_і I_{çâ} t$. Отже, $G_н$ = 10,6·140·0,02 = 29,68 *г*.

Відповідь: $G_н$ = 29,68 *г*.

Завдання 3. Визначити коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$, якщо відомо коефіцієнт розплавлення $\alpha_р$ = 14 *г/А·год* і коефіцієнт втрат ψ = 20%.

Рішення

1. З формули (14) розраховується коефіцієнт наплавлення $\Psi = \frac{\alpha_ð - \alpha_і}{\alpha_ð} \cdot 100\%$.

Отже $\alpha_і = \alpha_ð - \frac{\Psi - \alpha_ð}{100\%} = 14 - \frac{20\% \cdot 14}{100\%} = 11{,}2$ *г/А·год*.

Відповідь: $\alpha_н$ = 11,2 *г/А·год*.

Задача 4. Визначити швидкість зварювання, якщо відомо коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$= 11 *г/А·год*; сила струму $I_{зв}$ = 300 *А*; площа поперечного перерізу шва *F* = 1,1 *см*^{2}.

Рішення

1. З формули (15) розраховується швидкість зварювання $\upsilon = \frac{\alpha_i I_{çâ}}{\rho \cdot F}$. Отже, $\upsilon = \frac{11 \cdot 300}{7{,}85 \cdot 1{,}1} = 382$ *см/год*, або 3,82 *м/год*.

Контрольні задачі з використанням додатка 9

Номер варіанту	**Задача 1.** Визначити кількість розплавленого металу, якщо зварювання виконується з такими режимами:	**Задача 2.** Визначити кількість наплавленого металу, якщо зварювання виконується з такими режимами:	**Завдання 3.** Визначити коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$, якщо відомо коефіцієнт розплавлення $\alpha_р$ і коефіцієнт втрат ψ.	**Задача 4.** Визначити швидкість зварювання, якщо відомо коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$= 11 *г/А·год.*, з такими режимами:
1	УОНИ-13/45 *t* = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 160 *А*	УОНИ-13/45 *t* = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 140 *А*	$\alpha_р$ = 7 ψ = 16%	$I_{зв}$ = 140 *А* *F* = 1,1 *см*^{2}
2	АНО-5 *t* = 0,52 *год* $I_{зв}$ = 150 *А*	АНО-5 *t* = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 145 *А*	$\alpha_р$ = 8 ψ = 18%	$I_{зв}$ = 145*А* *F* = 1,2*см*^{2}
3	АНО-6 *t* = 0,30 *год* $I_{зв}$ = 170 *А*	АНО-6 *t* = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 150 *А*	$\alpha_р$ = 9 ψ = 20%	$I_{зв}$ = 150 *А* *F* = 1,3 *см*^{2}
4	СМ-5 *t* = 0,23 *год* $I_{зв}$ = 155 *А*	СМ-5 *t* = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 155 *А*	$\alpha_р$ = 10 ψ = 22%	$I_{зв}$ = 155 *А* *F* = 1,4 *см*^{2}

Продовження

5	ОММ-5 t = 0,48 *год* $I_{зв}$ = 165 *А*	ОММ-5 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 160 *А*	α_p = 11 ψ = 24%	$I_{зв}$ = 160 *А* F = 1,5 *см*^{2}
6	ЦМ-7 t = 0,09 *год* $I_{зв}$ = 145 *А*	ЦМ-7 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 165 *А*	α_p = 12 ψ = 26%	$I_{зв}$ = 165 *А* F = 0,9 *см*^{2}
7	ОЗС-4 t = 0,14 *год* $I_{зв}$ = 140 *А*	ОЗС-4 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 170 *А*	α_p = 13 ψ = 28%	$I_{зв}$ = 170 *А* F = 0,8 *см*^{2}
8	МР-1 t = 0,34 *год* $I_{зв}$ = 150 *А*	МР-1 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 175 *А*	α_p = 14 ψ = 30%	$I_{зв}$ = 175 *А* F = 0,7 *см*^{2}
9	МР-3 t = 0,29 *год* $I_{зв}$ = 160 *А*	МР-3 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 180 *А*	α_p = 15 ψ = 17%	$I_{зв}$ = 180 *А* F = 1,6 *см*^{2}
10	АНО-4 t = 0,07 *год* $I_{зв}$ = 180 *А*	АНО-4 t = 0,32 *год* $I_{зв}$ = 185 *А*	α_p = 16 ψ = 19%	$I_{зв}$ = 185 *А* F = 1,7 *см*^{2}

Контрольні питання

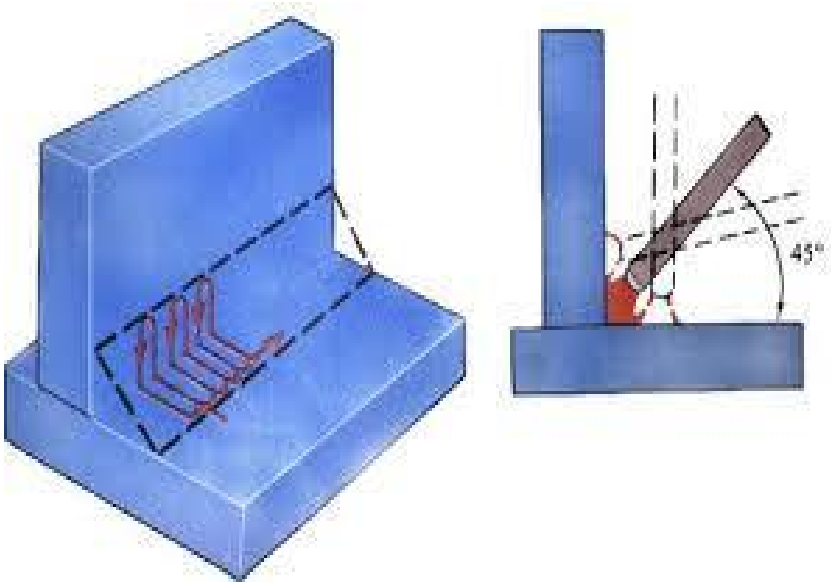
1. Від яких чинників залежить продуктивність дугового зварювання плавкими електродами?

2. Що характеризують коефіцієнти розплавлення, наплавлення і втрат електродів при зварюванні?

3. Чому коефіцієнт розплавлення α_p на початку і кінці розплавлення електроду різний?

4. Як впливає густина струму на величину втрат при ручному дуговому зварювані?

РОЗДІЛ VII
ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ ТА РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ЗВАРНОГО ШВА



ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ ТА РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ЗВАРНОГО ШВА

Сталеві електроди застосовують при дуговому зварювані вуглецевих і легованих конструкційних сталей, сталей з особливими властивостями, чавуну і при наплавленні. Металеві електроди для дугового зварювання чорних металів розділяються по властивостях покриттів: на електроди з іонізуючим покриттям (тонкопокриті) і захисним покриттям (товстопокриті), які здатні разом із захистом значно легувати метал шва, міняючи хімічний склад і механічні властивості наплавленого металу.

Ступінь легування металу шва з деякою похибкою може бути встановлена зі ставленням хімічного складу основного металу і металу наплавленого шва:

$$R_ш = R_o\gamma + (1-\gamma)R_e \pm \Delta R, \qquad (16)$$

де $R_ш$ - вміст елементу, що розраховується в металі шва або в наплавленому металі, %;

R_o - вміст цього ж елементу в основному металі, %;

R_e - вміст елементу, що розраховується в металі наплавленого даною маркою електродів або зварювальним дротом, %;

ΔR - перехід даного елементу з покриття або флюсу в шов, або його вигорання (для спрощення розрахунків не враховується);

γ - частка основного металу в металі шва або в наплавленому металі.

Технологія виготовлення металевих електродів зводиться до обробки електродного дроту, приготуванні замісу суміші покриття, нанесення покриття на стрижень, сушки і прожарення готових електродів.

Покриття на металеві стрижні можуть наноситися опресовуванням, зануренням і опудріванням.

Опресовування продуктивніше, і якість електродів при цьому вище ніж при використанні інших методів. Крім того, застосування пресів для нанесення покриття дозволяє включити в покриття важчі матеріали і більшу кількість легуючих феросплавів, тому що, покриття замішується у вигляді густої маси, що сприяє рівномірному розподілу матеріалу за об'ємом. Цей метод найчастіше застосовується на практиці.

Електроди, виготовлені методом занурення, за своїми технологічним властивостям значно поступаються електродам, які виготовлені опресовуванням. Покриття на електроди, виготовлені зануренням наносяться нерівномірно, часто з'являються здуття, внаслідок чого дуга горить менш стабільно, збільшуються втрати на розбризкування.

Хімічний склад, структура і зварюваність деяких марок сталей див. у додатку 15.

Хімічний склад, деяких марок зварювальних електродів див. у додатку 16.

Типові задачі з рішенням

Задача 1. Визначити необхідну кількість електродів марки УОНІ-13/45 для зварювання однопрохідного шва з перерізом F - 60 *мм*^{2} при довжині шва 10 *м*.

Рішення

Вагу наплавленого металу G у шов довжиною L = 1 *м* можна розрахувати за формулою:

$$G_{ш} = \gamma F L, \qquad (17)$$

де γ – густина метала, *г/см*^{3}; F – площа перерізу шва, *см*^{2}; L – довжина шва, *см.*

Таким чином,

$$G_{ш} = 7{,}8\ г/см^3 \cdot 0{,}60\ см^2 \cdot 100\ см = 468\ г.$$

Вага наплавленого металу 10 *м* шва розраховується по формулі:

$$G_{і} = G_{і1і}\, l. \qquad (18)$$

де l - довжина шва, *м*.

Отже,

$$G_{і} = 468 \cdot 10 = 4680 г = 4{,}680\ кг.$$

Необхідна кількість електродів (*кг*) для зварювання визначається по формулі:

$$g_{дё} = G_{і}\,(1{,}6 \div 1{,}8), \qquad (19)$$

де (1,6÷1,8) - коефіцієнт, що враховує витрату електродів на 1 *кг* наплавленого металу; приймаємо середнє значення - 1,7.

Тоді

$$g_{ел} = 4{,}680 \cdot 1{,}7 = 7{,}956\ кг.$$

Відповідь: $g_{ел}$ = 7,956 *кг.*

Задача 2. Визначити хімічний склад потрібного електродного металу для зварювання сталі марки Х25Т, нехтуючи ΔR і приймаючи $\gamma = 0{,}3$.

Хімічний склад основного металу і металу шва:

Вміст, %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
У основному металі	0,15	1	0,8	25,5	-	0,8
металі шва	0,12	0,69	1,08	25,6	8,8	0,24

Рішення

За формулою (16) визначається вміст елементу, що розраховується в металі наплавленому даною маркою електродів,

$$R_{\text{ä}} = \frac{R_{\text{ø}} - R_{\text{î}}}{1-\gamma},$$

$$R_{\text{äÑ}} = \frac{0{,}12 - 0{,}15 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{0{,}075}{0{,}7} = 0{,}11\%;$$

$$R_{eSi} = \frac{0{,}69 - 1 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{0{,}39}{0{,}7} = 0{,}56\%;$$

$$R_{eMn} = \frac{1{,}08 - 0{,}8 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{0{,}84}{0{,}7} = 1{,}2\%;$$

$$R_{eCr} = \frac{25{,}6 - 25{,}5 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{17{,}93}{0{,}7} = 25{,}6\%;$$

$$R_{eNi} = \frac{8{,}8 - 0 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{8{,}8}{0{,}7} = 12{,}5\%;$$

$$R_{eTi} = \frac{0{,}24 - 0{,}8 \cdot 0{,}3}{1-0{,}3} = \frac{0}{0{,}7} = 0\%.$$

Відповідь: $R_{\text{äÑ}} = 0{,}11\%$; $R_{eSi} = 0{,}56\%$; $R_{eMn} = 1{,}2\%$; $R_{eCr} = 25{,}6\%$; $R_{eNi} = 12{,}5\%$; $R_{eTi} = 0\%$.

Задача 3. Визначити хімічний склад метала шва, виконаний на сталі Х18Н9Т електродами марки ЦЛ-11, якщо γ = 0,4. Данні по хімічному складу основного і наплавленого електродами марки ЦЛ-11 металу:

Вміст, %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Nb
Сталь Х18Н9Т	0,09	0,4	0,7	18,5	8,5	0,7	-
Електрод ЦЛ-11	0,12	1,0	1,6	20,0	9,5	-	1,0

Рішення

З формули (16) визначається хімічний склад металу шва, виконаний на сталі Х18Н9Т електродами марки ЦЛ-11,

$$R_{\hat{a}} = \frac{R_{\o} - R_{\hat{i}}}{1-\gamma},$$

$$R_{\hat{a}\tilde{N}} = \frac{0{,}12 - 0{,}09 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{0{,}084}{0{,}6} = 0{,}14\%;$$

$$R_{eSi} = \frac{1{,}0 - 0{,}4 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{0{,}84}{0{,}6} = 1{,}4\%;$$

$$R_{eMn} = \frac{1{,}6 - 0{,}7 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{1{,}32}{0{,}6} = 2{,}2\%;$$

$$R_{eCr} = \frac{20{,}0 - 18{,}5 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{12{,}6}{0{,}6} = 21\%;$$

$$R_{eNi} = \frac{9{,}5 - 8{,}5 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{6{,}1}{0{,}6} = 10{,}166667\%;$$

$$R_{eTi} = \frac{0 - 0{,}7 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{0{,}28}{0{,}6} = 0{,}46666667\%.$$

$$R_{eNb} = \frac{1{,}0 - 0 \cdot 0{,}4}{1-0{,}4} = \frac{1}{0{,}6} = 1{,}6666667\%.$$

Відповідь: $R_{åÑ} = 0{,}14\%$; $R_{eSi} = 1{,}4\%$; $R_{eMn} = 2{,}2\%$; $R_{eCr} = 21\%$; $R_{eNi} = 10{,}16\%$; $R_{eTi} = 0{,}46\%$; $R_{eNb} = 1{,}6\%$.

Контрольні задачі за допомогою додатків 15 і 16

Номер варіанту	**Задача 1.** Визначити необхідну кількість електродів відповідної марки для зварювання однопрохідного шва з перерізом *F* при довжині шва *l*:	**Задача 2.** Визначити хімічний склад потрібного електродного металу для зварювання сталі відповідної марки, нехтуючи *ΔR* і приймаючи *γ* = 0,3:	**Задача 3.** Визначити хімічний склад метала шва, який виконаний на сталі електродами, якщо *γ* = 0,4:
1	АНО-4 *F* = 10; *l* = 10	ВСтЗ	ВСтЗ АНО-4
2	ОММ-5 *F* = 15; *l* = 10	17ГС	17ГС ОММ-5
3	АНМц/ЛКЗ-АБ *F* = 20; *l* = 10	15ХСНД	15ХСНД АНМц/ЛКЗ-АБ
4	ОЗА-1 *F* = 25; *l* = 10	12ХН3А	12ХН3А ОЗА-1
5	ОМЧ-1 *F* = 30; *l* = 10	0Х13	0Х13 ОМЧ-1
6	ЦЧ-4 *F* = 35; *l* = 10	12Х13	12Х13 ЦЧ-4
7	ЦЛ-9 *F* = 40; *l* = 10	08Х17Т	08Х17Т ЦЛ-9
8	ЦН-2 *F* = 45; *l* = 10	06Х12Н3Д	06Х12Н3Д ЦН-2
9	ЦТ-15 *F* = 50; *l* = 10	08Х18Н10Т	08Х18Н10Т ЦТ-15
10	КТИ-5-62 *F* = 55; *l* = 10	20Х23Н18	20Х23Н18 КТИ-5-62

Контрольні питання

1. Види покриттів електродів і марки електродів, відповідні даним типам.
2. Назвати основні функції матеріалів електродних покриттів.
3. Як позначаються по ГОСТах типи плавких електродів різного призначення?
4. Які чинники враховують при виборі режиму зварювання для даної марки електроду?

5. Основні операції технологічного процесу виготовлення товстопокритих електродів.

6. Що характеризує коефіцієнт покриття.

7. Які потрібні початкові дані для розрахунку хімічного складу металу шва?

РОЗДІЛ VIII
РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО МЕТАЛУ В РОЗРІЗІ ШВА

Розрахунок основного металу в розрізі шва

Незалежно від типу і способу виконання, зварювальний шов складається з певної частки основного і електродного металу.

Розглянемо питання про вплив режиму ручного дугового зварювання на частку основного металу в металі шва і на його розміри. Складовими режимами ручного дугового зварювання є сила зварювального струму, напруга на дузі, діаметр електроду, швидкість переміщення дуги, кут нахилу електроду і т. п.

Сила зварювального струму (*А*) може бути визначена за наступною формулою:

$$I_{çâ} = kd_{âë} \qquad (20)$$

де $d_{зв}$ - діаметр стрижня електроду, *мм*; *k* - коефіцієнт, що приймається для електродів *d* = 3÷4 *мм* рівним 30-45 $А/мм^2$.

Збільшення сили зварювального струму призводить до збільшення ефективної теплової потужності дуги $Q_{еф}$, внаслідок чого збільшуються глибина проплавлення, опуклість, ширина валика і швидкість плавлення електроду. В результаті цього частка основного наплавленого металу в металі шва підвищується.

Для визначення частки основного металу в металі шва (а в даному випадку наплавленого валика) потрібно знати площу переризу наплавленого валика $F_н$ ($мм^2$):

$$F_i = 0{,}75åä, \qquad (21)$$

де *е* – ширина валика, *мм*; *д* – опуклість валика в основному металі.

Площа перетину проплавленого металу, яка з деякою похибкою має визначення:

$$F_{ïð} = 0{,}75åh \qquad (22)$$

де h – висота опуклості валика, *мм*;

тоді

$$\gamma = \frac{F_{ïð}}{F_{ïð} + F_{í}} \qquad (23)$$

Підвищення *напруги* на дузі приводить до зменшення глибини провару, оскільки збільшуються втрати тепла на випромінювання, чад і розбризкування. Внаслідок збільшення довжини дуги збільшується площа нагріву виробу, тобто збільшується ширина валика, тобто зменшується його опуклість, оскільки на величину коефіцієнтів $\alpha_р$ і $\alpha_н$ напруга впливає незначно. Частка ж основного металу в металі шва при ручному дуговому зварюванню із збільшенням напруги, практично не змінюється.

Збільшення *діаметру* електроду (при силі зварювального струму тієї ж величини) призводить до зменшення щільності зварювального струму, пониження температури дуги, а це в свою чергу спричиняє за собою зменшення глибини провару, збільшення ширини валика і зменшення частки основного металу в металі шва.

Погонна енергія - це відношення ефективної теплової потужності дуги $Q_{еф}$, що витрачається на нагрів виробу до швидкості переміщення дуги $\upsilon_{зв}$, і визначає кількість тепла, введеного дугою в один *см* довжини однопрохідного шва або валика, і т. п.

$$q_{ï} = \frac{Q_{åô}}{\upsilon_{çâ}} = \frac{I_{çâ} U_{ä} \eta_{å}}{\upsilon_{çâ}} \qquad (24)$$

Отже, збільшення енергії призводить до збільшення площі переризу шва, тобто до зміни частки основного металу в металі шва і форми валика. Швидкість переміщення зварювальної дуги при однопрохідному шву рівна швидкості зварювання.

Типові задачі з рішеннями

Задача 1. Визначити енергію q_n, якщо відомо, ефективна теплова потужність дуги $Q_{еф}$ = 1800 *Вт*; $\upsilon_{зв}$ = 382 *см/год*.

Рішення

За формулою (24) q_n = 1800/382 = 4,7 *Вт*.

Відповідь: q_n = 4,7 *Вт*.

Задача 2. Визначити режими і вагу електродів при зварюванні встик пластин товщиною 8 *мм* і довжиною 10 *м*. Зварювання проводилося електродами УОНІ-13/45 діаметром 4 *мм*. Площа поперечного перетину шва 12 *мм*^{2}.

Рішення

Сила зварювального струму за формулою (20) $I_{ñâ} = kd_{åë}$ = 40·4 = 160 *А*.

Швидкість зварювання визначається за формулою (15) $\upsilon = \frac{\alpha_í I_{çâ}}{\rho \cdot F} = \frac{8 \cdot 160}{7{,}8 \cdot 12} = 13{,}6 ì\ /\ ãîä$,

де $\alpha_н$ беремо за даними паспорта марки електрода (див. у додатку 9).

Вага 1 *м* наплавленого металу при площі переризу шва (*мм*^{2}) чисельно рівна об'єму 1 *м* шва (*см*^{3}) за формулою (17)

$$G_{í1ì} = \gamma V = 7{,}8 \cdot 12 = 93{,}6\ г.$$

Вага 10 *м* шва за формулою (18)

$$G_í = G_{í1ì}\, l = 93{,}6 \cdot 10 = 936\ г = 0{,}936\ кг$$

Вага електродів для зварювання розраховується з формули (19)

$$g_{åë} = G_í\,(1{,}6 \div 1{,}8) = 0{,}936 \cdot 1{,}7 = 1{,}59\ кг.$$

Відповідь: $\upsilon = 13{,}6 ì\ /\ ãîä$; $G_í$ = 0,936 *кг*; $g_{åë}$ = 1,59 *кг*.

Задача 3. Визначити силу зварювального струму і швидкість переміщення дуги, якщо відомо, що зварювання проводиться електродами ЦТ-15 діаметром d = 4 *мм* і площа поперечного переризу валика 40 *мм*^{2}.

Рішення

Сила зварювального струму за формулою (20) $I_{ñâ} = kd_{åë}$ = 40·4 = 160 *А*.

Швидкість зварювання визначається за формулою (15) $\upsilon = \frac{\alpha_i I_{çâ}}{\rho \cdot F}$

$$= \frac{12 \cdot 160}{7{,}8 \cdot 40} = 6{,}15 ì\ /\ ãîä,$$

де $\alpha_н$ беремо за даними паспорта на марку електрода (див. у додатку 9).

Відповідь: $I_{зв} = 160A$; $\upsilon = 6{,}15 ì\ /\ ãîä$.

Завдання 4. Визначити погонну енергію, при якій проводилося наплавлення валика на пластину при $I_{зв}$ = 250 *А*, $U_д$ = 25 *В*, $\upsilon_{зв}$ = 18*м/год*, η = 0,8, електродами УОНІ-13/45.

Рішення

За формулою (24) $q_ï = \frac{Q_{äô}}{\upsilon_ä} = \frac{I_{çâ} U_ä \eta}{\upsilon_ä} = \frac{250 \cdot 25 \cdot 0{,}8}{18} = 278$ *Вт*.

Відповідь: $q_п$ = 278 *Вт*.

Контрольні задачі за допомогою додатка 9

Номер варіанту	**Задача 1**. Визначити енергію $q_п$, якщо відомо, ефективна теплова потужність дуги $Q_{еф}$ та швидкість зварювання $\upsilon_{зв}$:	**Задача 2**. Визначити режими і вагу електродів при зварюванні встик пластин товщиною 8 *мм* і довжиною 10 *м*. Зварювання проводилося відповідними електродами діаметром 4 *мм*. Площа поперечного перетину шва *F мм*^{2}:	**Задача 3.** Визначити силу зварювального струму і швидкість переміщення дуги, якщо відомо, що зварювання проводиться відповідними електродами діаметром d = 4 *мм* і площа поперечного переризу валика *F мм*^{2}:	**Завдання 4.** Визначити погонну енергію, при якій проводилося наплавлення валика на пластину при $I_{зв}$; $U_д$; $\upsilon_{зв}$; η = 0,8, відповідними електродами:
1	$Q_{еф}$ = 1800 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 682 *см/год*	АНО-4 *F* = 90 *мм*^{2}	АНО-4, *F* = 90*мм*^{2}	АНО-4, $I_{зв}$ = 245*А*, $U_д$ = 26*В*, $\upsilon_{зв}$ = 18*м/год*,
2	$Q_{еф}$ = 1650 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 382 *см/год*	ОММ-5 *F* = 85 *мм*^{2}	ОММ-5, *F* = 85*мм*^{2}	ОММ-5, $I_{зв}$ = 240*А*, $U_д$ = 25*В*, $\upsilon_{зв}$ = 18*м/год*,
3	$Q_{еф}$ = 1800 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 50 *см/год*	АНМц/ЛКЗ-АБ *F* = 80 *мм*^{2}	АНМц/ЛКЗ-АБ *F* = 80*мм*^{2}	АНМц/ЛКЗ-АБ, $I_{зв}$ = 235*А* $U_д$ = 24*В*, $\upsilon_{зв}$ = 17*м/год*,
4	$Q_{еф}$ = 1800 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 100 *см/год*	ОЗА-1 *F* = 75 *мм*^{2}	ОЗА-1 *F* = 75*мм*^{2}	ОЗА-1, $I_{зв}$ = 230*А*, $U_д$ = 25*В*, $\upsilon_{зв}$ = 17*м/год*,
5	$Q_{еф}$ = 1700 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 350 *см/год*	ОМЧ-1 *F* = 65 *мм*^{2}	ОМЧ-1 *F* = 65*мм*^{2}	ОМЧ-1, $I_{зв}$ = 225*А*, $U_д$ = 26*В*, $\upsilon_{зв}$ = 18*м/год*,
6	$Q_{еф}$ = 1400 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 382 *см/год*	ЦЧ-4 *F* = 60 *мм*^{2}	ЦЧ-4 *F* = 60*мм*^{2}	ЦЧ-4, $I_{зв}$ = 220*А*, $U_д$ = 25*В*, $\upsilon_{зв}$ = 16*м/год*,
7	$Q_{еф}$ = 1800 *Вт*	ЦЛ-9	ЦЛ-9	ЦЛ-9, $I_{зв}$ = 215*А*,

	$\upsilon_{зв}$ = 82 *см/год*	F = 55 *мм*^{2}	F = 55*мм*^{2}	$U_д$ = 24*В*, $\upsilon_{зв}$ = 16*м/год*,
8	$Q_{еф}$ = 1600 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 300 *см/год*	ЦН-2 F = 50 *мм*^{2}	ЦН-2 F = 50*мм*^{2}	ЦН-2, $I_{зв}$ = 210*А*, $U_д$ = 25*В*, $\upsilon_{зв}$ = 15*м/год*,
9	$Q_{еф}$ = 1700 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 302 *см/год*	ЦТ-15 F = 45 *мм*^{2}	ЦТ-15 F = 45*мм*^{2}	ЦТ-15, $I_{зв}$ = 205*А*, $U_д$ = 26*В*, $\upsilon_{зв}$ = 15*м/год*,
10	$Q_{еф}$ = 1850 *Вт* $\upsilon_{зв}$ = 380 *см/год*	КТИ-5-62 F = 40 *мм*^{2}	КТИ-5-62 F = 40*мм*^{2}	КТИ-5-62, $I_{зв}$ = 200*А*, $U_д$ = 25*В*, $\upsilon_{зв}$ = 15*м/год*,

Контрольні питання

1. Що характеризує погонна енергія і її аналітичний вираз?

2. Яка існує залежність між погонною енергією і площею переріза валика? Вивести її для випадку наплавлення електродом УОНІ-13/45.

3. Як визначається частка основного металу в металі шва?4. Вплив погонної енергії, сили зварювального струму, напруги на дузі, діаметру електроду на частка основного металу в металі шва при ручному зварюванні.**5. Як визначається швидкість переміщення дуги за відсутності спеціальних фіксуючих приладів?**

ЗВАРЮВАННЯ ЛЕГОВАНИХ І ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Високолеговані сталі володіють підвищеними механічними властивостями, жароміцністю, доброю окалиностійкістю, стійкістю проти корозії і дії агресивного середовища. Застосування цих сталей в промисловості сильно зросло за останні роки. Найбільшого поширення набули сталь типу 18-8, які відрізняються стійкістю проти дії повітря і кислот. Вони застосовуються для виготовлення конструкцій, що працюють при температурах до 600-650°*С*, а в окремих випадках (якщо термін експлуатації конструкції нетривалий) при вищих температурах.

При зварюванні сталь 18-8 ділянки основного металу, ще розташовані по обидва боку від шва, піддаються нагріву. У ділянках, що тривалий час знаходяться під впливом критичних температур (450-850°*С*), може розвинутися міжкристалічна корозія, що полягає в тому, що прикордонні шари зерен під дією агресивного середовища втрачають свої антикорозійні властивості. Це явище є результат збіднення прикордонних шарів зерен аустеніту хрому, внаслідок випадання складних карбідів

заліза і хрому по межах кристалів аустеніту. З метою зменшення схильності сталі до міжкристалічної корозії, зменшують вміст в ній «*вуглецю*» або скорочують час перебування металу в інтервалі критичних температур.

До зварних з'єднань із сталі типу 18-8 пред'являються підвищені вимоги. На якість зварних з'єднань істотний вплив робить режим зварювання. Надмірне збільшення напруги підсилює окиснення *Cr, Ti, V* (*феритоутворюючих елементів*), оскільки чим довша дуга, тим важче захистити зону зварювання від навколишнього середовища. Тому зварювання аустенітної сталі рекомендується проводити короткою дугою.

Збільшення сили зварювального струму при незмінній швидкості зварювання спричиняє за собою збільшення об'єму зварювальної ванни. При цьому спостерігається укрупнення зерен металу шва, що підвищує схильність до міжкристалічної корозії і утворення *гарячих* тріщин, особливо в литих аустенітних сталях.

Підвищення швидкості зварювання навіть при рівній погонній енергії призводить до збільшення швидкості кристалізації і подрібнення структури шва. Звідси витікає, що погонна енергія значно впливає на властивості біляшовной зони при зварюванні легованих і високолегованих сталей.

Властивості зварного з'єднання залежать і від структури металу шва. У двофазному аустеніто-феритному шві (*рис*. 4) первинний ферит залягає у вигляді ділових пелюсток, основна маса якого утворюється всередині кристалів і лише невелика частина по межах зерен аустеніту. Випадання надмірної фази багатої хромом, відбуватиметься в місцях великого скупчення фериту всередині зерен. Агресивне середовище проникаючи в глиб металу по межах зерен аустеніту, зустрічатиме стійкі (не збіднені хромом) кристали аустеніту, надмірна фаза з яких випала всередину кристала. Товщина прошарків між зернами аустеніту зменшиться, і стійкість таких швів проти міжкристалічної корозії і гарячих тріщин підвищиться в порівнянні з чисто аустенітними швами (*рис*. 4, *а*).

Вміст фериту в зварних швах можна визначити розрахунковим шляхом, користуючись діаграмою Шеффлера (*рис*. 5), або за допомогою спеціального приладу - феритометра.

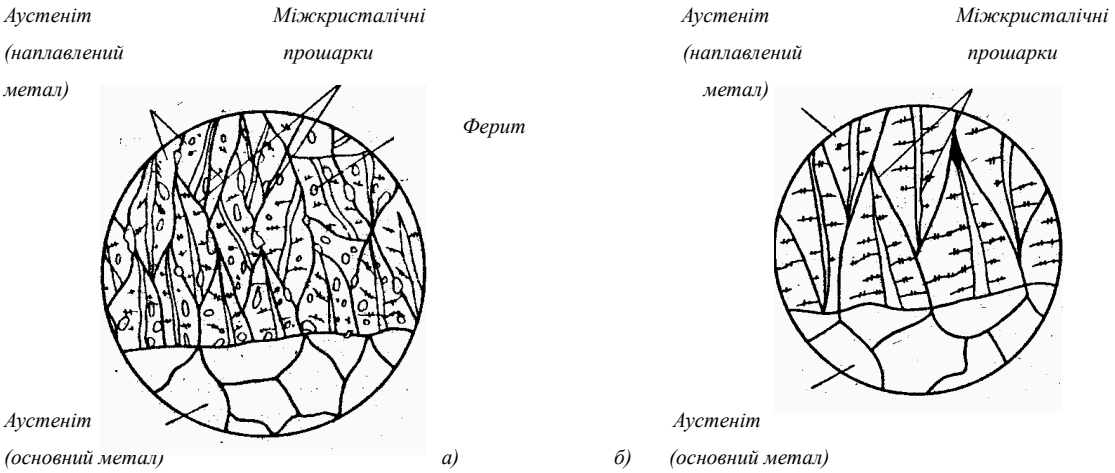


Рис. 4. Структура зварних швів:
а - аустеніто-феритний; б – аустенітний

Хімічний склад, структура і зварюваність деяких марок сталей, %, надані додаток 15.

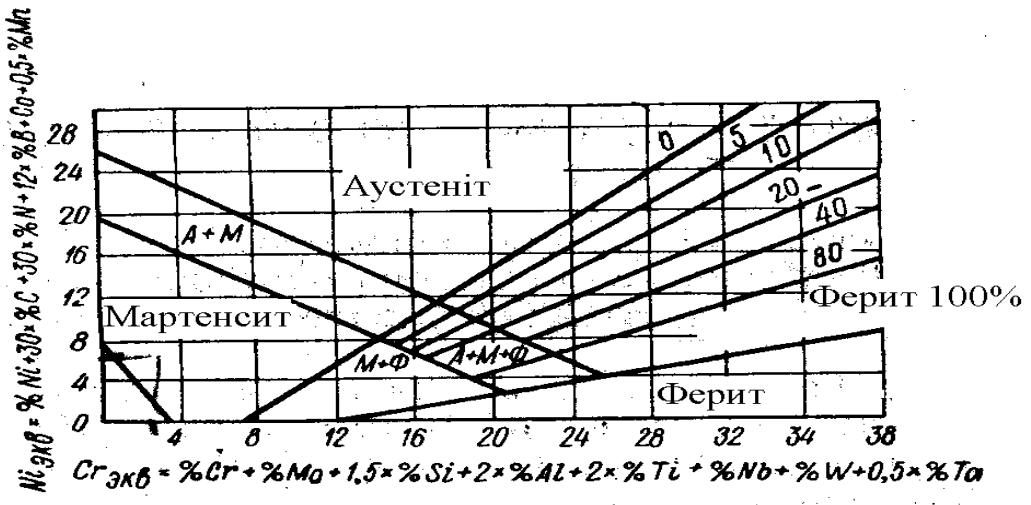


Рис. 5. Структурна діаграма зварних швів (по Шеффлеру)

Визначення еквіваленту вуглецю розраховують за формулою:

$$C_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}} = \%\tilde{N} + \frac{\%Mn}{6} = \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} \qquad (25)$$

Повний еквівалент вуглецю з урахуванням впливу товщини металу визначається за формулою:

$$C'_{екв} = C_{екв}\,(1 + 0{,}005s) \qquad (26)$$

Визначення температури попереднього підігріву при певному еквіваленті розраховують за формулою:.

$$\grave{O}_{\ddot{i}} = 350\sqrt{\grave{\tilde{N}}_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}} - 0{,}25} \qquad (27)$$

Типові задачі з рішеннями

Задача 1. Вибрати електроди для зварювання сталі ЗОХГСА, яка має наступний хімічний склад: C = 0,31%; Mn = 0,9%; Si = 1,0%; Cr = 1,0%, наведено у додатку 15, щоб після зварювання структура металу шва вийшла мартенситною, якщо частка основного метала в наплавленому металі γ = 0,35.

Рішення

Приймаємо електроди типу Е145-Ф марки НІАТ-3 наведено у додатку 16, що забезпечують отримання наплавленого металу наступного хімічного складу: C = 0,18%; Mn = 1,5%; Si = 0,5%; Cr = 1,53%.

Розрахувати хімічний склад металу шва за формулою (16):

$R_{шC}$ = 0,35·0,31 + 0,65·0,18 = 0,21%;

$R_{шCr}$ = 0,35·1,0 + 0,65·1,53 = 1,35%;

$R_{шMn}$ = 0,35·0,9 + 0,65·1,5 = 1,29%;

$R_{шSi}$ = 0,35·1,0 + 0,65·0,5 = 0,67%;

$R_{шMo}$ = 0,35·0,4 = 0,26%.

Визначити еквівалент Cr і Ni за формулами, представленими на рис.5

$Cr_{екв}$ = % Cr + % Mo + 1,5% Si = 1,35 + 0,26 + 1,5·0,67 = 2,6%;

$Ni_{екв}$ = 30% C + 0,5% Mn = 30·0,21 + 0,5·1,29 = 6,94%.

По діаграмі Шеффлера визначити структуру металу шва. Для даного випадку вона мартенситна. Отже, електроди НІАТ-3 задовольняють заданій умові.

Задача 2. Визначити, чи потрібний підігрів при зварюванні встик двох деталей товщиною 10 *мм* із сталі 35ХМ, наступного хімічного складу: C = 0,35%; Mn = 0,55%; Cr = 0,9%; Mo = 0,2%, наведено у додатку 16.

Рішення

Визначити еквівалент вуглецю за формулою (25)

$$C_{\text{åêâ}} = \%\tilde{N} + \frac{\%Mn}{6} = \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} =$$

$$= 0{,}35 + \frac{0{,}55}{6} + \frac{0{,}9}{5} + \frac{0{,}2}{4} = 062\%.$$

Повний еквівалент вуглецю з урахуванням впливу товщини визначається за формулою 26

$$C'_{екв} = C_{екв}\,(1 + 0{,}005s) = 0{,}62\cdot(1 + 0{,}005\cdot 10) = 0{,}65.$$

При такому еквіваленті підігрів необхідний. Температура попереднього підігріву визначається за формулою 27

$$\grave{O}_{\ddot{i}} = 350\sqrt{\tilde{N}'_{\text{åêâ}} - 0{,}25} = 350\sqrt{0{,}65 - 0{,}25} = 222^{\circ}\tilde{N}.$$

Контрольні задачі за допомогою додатка 15 і 16

Номер варіанту	**Задача 1.** Вибрати електроди для зварювання сталі *відповідно варіанта*, та визначити структуру зварювального шва, якщо частка основного метала в наплавленому металі γ = 0,35:	**Задача 2**. Визначити, чи потрібний підігрів при зварюванні встик двох деталей товщиною 10 *мм* із сталі *відповідно варіанта*:
1	ВСт3.	ВСт3
2	17ГС.	17ГС
3	15ХСНД.	15ХСНД
4	12ХН3А	12ХН3А
5	08Х13.	08Х13
6	12Х13	12Х13
7	08Х17Т	08Х17Т
8	06Х12Н3Д	06Х12Н3Д

9	08Х18Н10Т.	08Х18Н10Т
10	20Х23Н18.	20Х23Н18

Контрольні питання

1. Чому двофазна сталь (γ + α) менш схильна до гарячих тріщин?
2. Структурна діаграма Шеффлера і її практичне значення.
3. Що таке міжкристалічна корозія, причини її виникнення і методи запобігання?
4. Чому еквівалент вуглецю є критерієм для оцінки необхідності застосування підігріву при зварюванні сталі?

РЕЖИМИ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Під режимом роботи розуміється співвідношення між часом $t_{зв}$ зварювання і часом $t_{х.х.}$ холостого ходу (переміжний режим), або часом $t_п$ паузи у випадку, якщо джерело живлення відключається від мережі (повторно-короткочасний режим). Під час холостого ходу або паузи виконують зміну електродів, збірання заготовок, очищення шва від шлаку і інших забруднень, відбувається також охолоджування джерела живлення.

Переміжний режим характеризуються тривалістю роботи *ТР* (%), визначуваної за допомогою виразу:

$$ÒÐ = \frac{t_{çâ}}{t_{çâ} t_{ð.ð.}} 100 \qquad (28)$$

Повторно-короткочасний режим характеризується тривалістю включення *ТВ* (%), для визначення якої використовують вираз:

$$ÒÂ = \frac{t_{çâ}}{t_{çâ} t_{ï}} 100 \qquad (29)$$

Значення *ТР* враховують при ручному дуговому зварюванні, а також при автоматичному і механізованому під флюсом на постійному струмі. У решті випадків враховують значення *ТВ*, яке вважають рівними *ТР*. Для ручного дугового зварювання зазвичай приймають $t_{зв} + t_{п} = 5хв$, причому $t_{зв} = 3хв$, $t_{п} = 2хв$.

За номінальний режим роботи однопостових зварювальних генераторів, трансформаторів і випрямлячів прийнятий режим при *ТР* = 60%, що означає: протягом 10 хв він буде працювати 6 хв, а 4 хв буде вимкнутий з мережі, а багатопостових джерел живлення при *ТР* = 100%.

Кожне джерело живлення розраховують на номінальне навантаження, при якому він працює, не перегріваючись вище за допустимі норми. У паспорті джерела живлення вказують номінальні значення сили струму $I_н$ і тривалість роботи $ТР_Н$.

У тих випадках, коли зварювання виконується при жорсткіших режимах в порівнянні з паспортними, визначають максимально допустиму силу струму (*А*):

$$^{2}_{äîï} = {}^{2}_{í}\sqrt{ÒÐ_{í} / ÒÐ} \qquad (30)$$

Типові задачі з рішеннями

Задача 1. Визначити допустиму силу струму трансформатора ТС-300 ($ТР_Н$ = 60 %, $I_н$=300 *А*), якщо джерело працює безперервно більше 10 *хв*, тобто *ТР* = 100 %.

Рішення

Користуючись формулою (30), знаходимо, що $^{2}_{äîï} = 300\sqrt{60/100} = 232 À$. Таким чином, при безперервному режимі роботи сила струму не повинно перевищувати 232 *А*.

Відповідь: $I_{доп}$ = 232 *А*.

Контрольні задачі

Номер варіанта	**Задача 1**. Визначити допустиму силу струму трансформатора ТД при його безперевнні роботі:
1	ТД-300; TP_H = 60 %; $I_н$=300A; TP = 100 %.
2	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=310A; TP = 100 %.
3	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=320A; TP = 100 %.
4	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=330A; TP = 100 %.
5	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=340A; TP = 100 %.
6	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=350A; TP = 100 %.
7	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=360A; TP = 100 %.
8	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=370A; TP = 100 %.
9	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=380A; TP = 100 %.
10	ТД-500; TP_H = 60 %; $I_н$=400A; TP = 100 %.

Контрольні питання

1. Що називають режимом роботи?
2. Охарактеризуйте тривалість роботи.
3. Охарактеризуйте тривалість включення.
4. Для чого розраховують максимально допустиму силу струму.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Згідно стантарту умовне позначення електродів для зварювання і наплавлення є вираз, у чисельнику та знаменнику якого вказуються характеристики електрода.

Рис. 6. 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 характеризується мінімально гарантованим тимчасовим опорам 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*^{2}).

2. Марка електрода характеризується складом покриття, маркою електродного дроту, властивостями металу шва. Наприклад, марка АНО-21 відповідає типу електрода Э46А.

3. Діаметр електрода згідно стантарту 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 Ø – діаметр, а числове значення вказують окремо в іншому місці.

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. М – з тонким покриттям; С – з середнім покриттям; Д – з товстим покриттям; Г – з особливо товстим покриттям.

6. Якість електрода залежно від вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору), точності виготовлення, стану поверхні покриття, класифікують на групи:1, 2 і 3. Чим вища група, тим краща якість електрода.

7. Група індексів встановлюється за стандартом і вказує характеристики наплавленого металу і металу шва, див.у додатку 22. Перші дві цифри після букви Е означає тимчасовий опір розриву $\sigma_в$ = 370, 410, 430, і 510 *МПа* (відповідно 38,42, 44 і 52 *кгс/мм*^{2}), третя – відносне видовження $\delta_в$% і критичну температуру крихкості T_x. наприклад, індекси Е 412 (5) означають: 41 - $\sigma_в$ = 410 *МПа*; 2 - $\delta_в \geq$ 22%; (5) - T_x = - 40 ^{o}C. в умовному позначенні електродів для зварювання легованих конструкційних сталей з $\sigma_в$>600 *МПа* 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, індекс 09Г2Н10МХ-3 означають: 09 – 0,09%С; Г2 – 2% Mn; Н10 – 10%Ni; М – 1%Mo; Х – 1%Cr; 3 - T_x = - 20 ^{o}C.

Група індексів металу шва для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями стандарту складається з чотирьох цифр для електродів, які забезпечують аустенітно-феритну структуру наплавленого металу, і з трьох цифр – для решти електродів. Індекси характеризують стійкість проти міжкристалічної корозії, жароміцність, жаростійкість і кількість фериту в металі шва, див додаток 23.

Перша цифра характеризує наплавлений метал і метал шва, не схильний до міжкристалічної корозії при випробуваннях стандарта.

Друга цифра характеризує максимальну робочу температуру, при якій регламентований показник тривалої міцності, ^{o}C.

Третя цифра характеризує максимальну робочу температуру зварних з’єднань, при якій допускається застосування електродів при зварювані жаростійких сталей, ^{o}C.

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

8. Вид покриття. А(А) – кисле; Б(В) – основне; Р(R) – рутилові; Ц(С) – Целюлозне; П(S) – інше; Ж – в покритті більше 20% залізного порошку (в дужках – іноземні умовні позначення виду покриття електродів).

9. Допустиме просторове положення: 1 – для всіх просторових положень; 2 – для всіх положень, крім вертикального зверху вниз; 3 – для нижнього, горизонтального й вертикального знизу вверх; 4 – для нижнього та нижнього «у човник».

10. Рід струму й полярність, позначають цифрами, див додаток 24.

11. Номер стандарту, який визначає класифікацію, розміри й загальні технічні вимоги на покриті металеві електроди для ручного дугового зварювання.

12. Держстантарт та інші регламентують вимоги щодо типу електрода, який розглядається.

Контрольні задачі за допомогою додатків 22, 23 і 24

Номер варіанта	Розшифруйте умовні позначення покритих електродів
1	Э46А-УОНИ-13/45-3,0-УД2 / Е 43 2(5)-Б10 ГОСТ9466-75
2	Э-09Х1МФ-ЦЛ-20-4,0-ТД3 / Е-27-Б10 ГОСТ9466-75
3	Э-11Г3-ОЗН-300У-4,0-НД1 / Е-300/32-1-Б40 ГОСТ9466-75

4	Э10Х25Н13Г2Б-ЦЛ-9-5,0-ВД1 / Е-2075-Б30	ГОСТ9466-75
5	Э42А-УОНИ-13/45-5,0-УД3 / Е 41 2(5)-Б20	ГОСТ9466-75
6	Э42А-СМ-11-4,0-УД / Е 43 2(3)-Б16	ГОСТ9466-75
7	Э42-АНО-5-4,0-УД / Е 41 3-РЖ21	ГОСТ9466-75
8	Э42-АНО-64,0-УД / Е 41 2(3)-Р21	ГОСТ9466-75
9	Э46А-МР-3-3,0-УД / Е 43 1(3)-РБ23	ГОСТ9466-75
10	Э55-УОНИ-13/55У-3,0-УД2 / Е 51 3-Б26	ГОСТ9466-75

Контрольні питання

1. Як класифікують плавкі штучні електроди?
2. Які є види покриття електродів?
3. Яке призначення покриття електродів?
4. Що таке тип електрода?
5. Які електроди використовують при зварюванні?

ДОДАТКИ

Додаток 1

Типові способи зварювання та їх зазначення

№ з/п	Назва способу зварювання	Умовне позначення	
		За міжнародною класифікацією	За вітчизняною класифікацією
1	Ручне дугове зварювання покритими електродами	Е	Р

2	Механізоване та автоматизоване дугове зварювання в активних захисних газах (CO_2, N_2, H_2 та їх сумішах, у т. ч. з інертними газами) плавким електродним дротом	MAG	АП
3	Те ж, в інертних газах плавким електродним	MIG	ІП
4	Автоматичне дугове зварювання під флюсом електродним дротом	UP	АФ
5	Електрошлакове зварювання дротяними, пластинчастими і комбінованими електродами	ES	Ш
6	Газове зварювання	G	Г
7	Аргонодугове зварювання неплавким електродом	TIG	ІН
8	Плазмове зварювання	PL	П
9	Електронно-променеве зварювання	ELs	ЕП
10	Лазерне зварювання	La	Л

Додаток 2

Вибір способу зварювання для різних груп матеріалів

№ з/п	Група матеріалів	Типовий спосіб зварювання плавленням									
		Плавким електродом					Неплавким електродом				
		Р	АП	ІП	АФ	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
1	Низьковуглецеві і низьколеговані сталі	+	++	(+)	++	++	+	(+)	(+)	(+)	(+)
2	Вуглецеві і леговані сталі, що гартуються	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+
3	Високолеговані сталі	+	+ (CO_2, N_2)	++	+	(+)	(+)	++	+	+	+
4	Ni, Co	+	(+)(N_2)	++	+	(+)	(+)	++	+	+	+
5	Cu, Ag, Au	+	+(N_2)	+	+	(+)		+	+	(+)	(+)
6	AI	(+)	-	+	(+)	(+)	(+)	++	+	+	+
7	Be, Mg	-	-	+	-	-	-	++	(+)	(+)	(+)
8	Ti, Zr, Hf	-	-	+	+	(+)	-	++	+	++	+

Примітка. «++» - рекомендується переважно; «+» - рекомендується; «(+)» - рекомендується обмежено; «-» - не рекомендується.

Додаток 3

Взаємозв'язок між глибиною проплавлення металу і кількістю проходів при зварюванні

Кількість проходів при зварюванні	Глибина проплавлення металу при використані типових способів зварювання плавленням, *мм*									
	Плавким електродом					Неплавким електродом				
	Р	АП	ІП	АФ	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
Один	від 2 до 4	від 0,8 до 6	від 0,8 до 6	від 2 до 12	від 30 до 1000	від 2 до 4	від 0,4 до 5	від 0,1 до 30	від 0,01 до 300	від 0,001 до 50
Два	від 2 до 7	від 0,8 до 10	від 0,8 до 10	від 12 до 30		від 4 до 12	від 5 до 7	від 30 до 60		
Три і більше	>7	>10	>10	>30		>12	>7	>60	>300	>50

Додаток 4

Рекомендована кількість проходів при ручному дуговому зварюванні стикових і кутових швів залежно від товщини зварюваних деталей

Товщина деталей, *мм*	1-4	5-6	8	10	12	14	16	18-20
Кількість проходів при зварюванні швів:								
- стикових	1	2	2-3	3-4	4	4-5	5-6	5-6
- кутових	1	1	1	2-3	2-3	3-4	5	5-6

Додаток 5

Мінімальні розміри катетів кутових швів (ГОСТ 5264-80)

Границя текучості сталі, *МПа*	Товщина більш товстого із зварюваних елементів, *мм*					
	від 3 до 4	від 4 до 10	від 10 до 16	від 16 до 22	від 22 до 32	від 32 до 40
До 400	3	4-5	6	7	8	9
400…450	4	5-6	7	8	9	10

Додаток 6

Вибір діаметра електрода залежно від розмірних характеристик зварюваної деталі

Діаметр електрода, *мм*	Товщина деталей, що зварюються стиковим швом, *мм*	Розмір катета шва при зварюванні кутових, таврових і напусткових з'єднань, *мм*
2	1,1-2,0	2-3
3-4	2,1-5,0	3,1-4,0
4-5	5,1-10,0	3,1-8,0
5	10,1 і більше	8,1 і більше

Додаток 7

Допустима густина струму в стрижні електрода, *А/мм²*

Покриття електрода	Діаметр стрижня електрода, *мм*			
	2	3	4	5
Кисле і рутилові	14,0-20,0	11,5-16,0	10,0-13,5	9,5-12,5
основне	13,0-18,5	10,0-14,5	9,0-12,5	8,5-12,0

Додаток 8

Площа перерізу наплавлених шарів, що отримуються під час першого та наступного проходів при зварюванні

Положення шва у просторі	Товщина зварюваних деталей, *мм*	Площа перерізу шару, *мм²*	
		Перший прохід	Наступний прохід
Нижнє	6-10	20-30	30-60
	12	20-30	40-60
Вертикальне	6-10	20-40	40-60
	12	20-40	40-70
Горизонтальне і стельове	4-8	20-30	20-40
	10	20-30	30-60

Додаток 9

Значення коефіцієнта наплавлення деяких марок електродів для зварювання сталей

Призначення електрода	Тип електрода (ГОСТ 9467-75)	Марка електрода	Покриття	Коефіцієнт наплавлення, *г/(А·год)*
Для зварювання низьковуглецевих конструкційних сталей	Б42А-Ф	УОНИ-13/45	Фтористокальцієве	9,5
	Е42-Т	АНО-5	Рутилкарбонатне	11,0
	Е42-Т	АНО-6	Ільменитне	8,5
	Е42-Р	СМ-5	Руднокисле	7,2
	Е42-Р	ОММ-5	Руднокисле	7,2
	Е42-Р	ЦМ-7	Руднокисле	10,6
	Е46-Т	ОЗС-4	Рутилове	9,0
	Е46-Т	МР-1	Рутилкарбонатне	8,5
	Е46-Т	МР-3	Рутилкарбонатне	8,5
	Е46-Т	АНО-4	Рутилкарбонатне	8,3

Продовження

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей	Е42А-Ф Е55-Ф Е60А-Ф	ОЗС-2 УОНИ- 13/55 УОНИ- 13/65	Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве	9,5 9,5 9,5
Для зварювання корозійностійких сталей	ЕА-1а ЕА-16 ЕА-16 ЕА-16 ЕА-1м2 ЕА-Ф1 ЕФ-Х13	ОЗЛ-8 ОЗЛ-7 ЦЛ-11 ЦТ-15 ЦЛ-4 ЦЛ-33 УОНИ/10Х13	Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве Фтористокальцієве	13,0 12,0 12,5 12,0 11,0 13,0 11,0

Додаток 10

Тип шва за кількістю проходів при зварюванні в захисних газах

Тип шва за кількістю проходів	Товщина металу стикового шва, *мм*	Катет кутового шва *К*, *мм*, при положенні у просторі	
		Нижньому	«у човник»
Однопрохідний	0,8-8	1-8	5-11
Двопрохідний двобічний	3-12	1-8	5-11
багатопрохідний	13-120	9-60	12-60

Додаток 11

Обмеження діаметра електродного дроту при зварюванні в захисних газах

Положення шва у просторі	Діаметр електродного дроту (*мм*) при зварюванні	
	Механізованому	автоматичному
«У човник», нижнє	0,8-2,0	0,8-2,0
Вертикальне	1,2;1,4	-
Горизонтальне і стельове	1,2	-

Додаток 12

Обмеження зварювального струму

Положення шва у просторі	Сила зварювального струму, *А*	
	Механізованому	автоматичному
«У човник», нижнє	60-510	60-1440
Вертикальне	≤220	-
Горизонтальне і стельове	≤180	-

Додаток 13

Площа кореневого і заповнюю чого проходів в захисних газах

Положення шва у просторі	Площа перерізу металу, $мм^2$	
	У кореневому проході, $F_{пк}$	У заповнюю чому проході, $F_{пз}$
«У човник», нижнє	60-510	60-1440
Вертикальне	≤220	-
Горизонтальне і стельове	≤180	-

Додаток 14

Типи стандартних швів за кількістю проходів для дугового зварювання під флюсом

Тип шва за кількістю проходів	Товщина металу стикового шва, *мм*	Катет *К* кутового шва (*мм*) при положенні:	
		нижньому	«у човник»
Однопрохідний	2-12	3-8	5-14
Двопрохідний двобічний	12-22	3-8	5-14
багатопрохідний	23-160	9-40	15-40

Додаток 15

Хімічний склад, структура і зварюваність деяких марок сталей, %

Марка сталі	Хімічний склад сталі, %							Структура	Зварюваність
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P		
ВСтЗ	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	≤0,30	≤0,3	≤0,05	≤0,04	Ф + П	Добра
17ГС	0,14-0,20	1,0-1,4	0,40-0,60	-	-	≤0,035	≤0,035	Ф + П	Задовільна
15ХСНД	0,12-0,18	0,4-0,7	0,40-0,70	0,60-0,90	0,3-0,6	≤0,035	≤0,035	П	Задовільна
12ХН3А	≤0,15	0,30-0,60	0,17-0,37	0,70-0,90	2,8-3,2	≤0,025	≤0,025	П	Задовільна
0Х13	≤0,08	≤0,60	≤0,60	12-14	-	≤0,025	≤0,030	Ф	Задовільна
12Х13	0,09...0,15	≤0,80	≤0,80	12-14	-	≤0,025	≤0,030	М + Ф	Задовільна
08Х17Т	≤0,08	≤0,8	≤0,80	16-18	-	≤0,025	≤0,035	Ф	Задовільна
06Х12Н3Д	≤0,06	≤0,60	≤0,30	12-13	2,8-3,2	≤0,025	≤0,025	М	Обмежена
08Х18Н 10Т	≤0,08	1-2	≤0,80	17-19	9-11	≤0,020	≤0,035	А	Задовільна
20Х23Н18	≤0,20	≤2,0	≤1,0	22-25	17-20	≤0,020	≤0,035	А	Задовільна

Примітка. У сталях 08Х17Т і 08Х18Н10Т є 0,5...0,8 % Ti, у сталі 15ХСНД - 0,2...0,4 % Cu, у інших сталях вміст Cu < 0,3 %.

Додаток 16

Хімічний склад, деяких марок зварювальних електродів

Тип електрода	Марка				Вид покриття
	Електрода		Зварювального дроту		
Е-46Т	АНО-4		Св-08		Рутилове
Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Mn	Si	S		P
0,08	0,70	0,10	<0,04		<0,04
Тип електрода	Марка				Вид покриття
	Електрода		Зварювального дроту		
Е-42-Ф	УОНИ-13/45		Св-08А		Фтористо-кальцієве
Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Mn	Si	S		P
0,10	0,65	0,25	<0,03		<0,03
Тип електрода	Марка				Вид покриття
	Електрода		Зварювального дроту		
Е-42-Р	ОММ-5		Св-08		Рудно-кисле
Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Mn	Si	S		P
0,12	0,75	0,05	<0,05		<0,05
Тип електрода	Марка				Вид покриття
	Електрода		Зварювального дроту		
Е-А-1Ба	ЦТ-15		Св-07Х19Н10Б		Фтористо-кальцієве
Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	S	P
0,09	0,35	1,9	19,0	9,4	0,8	≤0,014	≤0,026
Тип електрода	Марка				Вид покриття
	Електрода		Зварювального дроту		
ЕН-80Х4СГ-55	13КН/ЛИВТ		Св-08, Св-08А		Фтористо-кальцієве
Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	Cr	S	P

0,09	0,35	1,9	19,0	≤0,014	≤0,026

Продовження

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕН-У10Г5Х7С-25	12АН/ЛИВТ	Св-08, Св-08А	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	Cr	S	P
1,05	0,4	5,6	7,3	≤0,015	≤0,04

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕА-1М2Фа	КТИ-5-62	Св-04Х19Н11М3	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S
0,11	0,4	3,2	19,2	11,5	2,2	0,42	≤0,04	≤0,03

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕА-3М6	ЕА-395/9	Св-10Х16Н25АМ6	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	S	P
0,09	≤0,70	1,60	15,5	25,0	5,8	0,12	<0,02	<0,03

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕН-У30Х23РС2ТГ-55	Т-620	Св-08, Св-08А	Легуючі

Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	Cr	B	Ti
3,2	2,2	1,2	23,0	1,5	1,3

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕН-У18К62Х30В5С2-40	ЦН-2	ВЗК	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	Cr	W	Co
1,85	1,9	0,2	31,0	4,5	62,0

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
ЕА-2Б	ЦЛ-9	Св-07Х25Н13	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	S	P
0,12	0,85	1,5	21,0	11,2	0,8	≤0,03	≤0,035

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
	ЦЧ-4	Св-08, Св-08А	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Si	Mn	V	S	P
≤0,15	≤0,6	0,5	9,5	≤0,04	≤0,04

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
	ОМЧ-1	Чавунні прутки марки Б	Спеціальне

Хімічний склад наплавленого металу, %				
C	Mn	Si	S	P
3,45	0,65	3,8	<0,07	<0,04

Продовження

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
	ОЗА-1	Св-А1	галогенідне

Хімічний склад наплавленого металу, %					
Ti	Fe	Si	Cu	Сума всіх сумішів	Al
0,15-0,25	0,25-0,50	0,20-0,55	0,01-0,10	0,4-1,2	Остальне

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
	МН-5	МН-5	Рудно-кислі

Хімічний склад наплавленого металу, %					
C	Mn	Si	Cu	Ni	Fe
≤0,04	≤0,45	≤0,3	≤90	5,0	0,9

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
	АНМц/ЛКЗ-АБ	Бр.АНМц 8-5-1,5	галогенідне

Хімічний склад наплавленого металу, %					
Mn	Cu	Ni	Al	Si	Fe
≤2,0	83,0	≥5,0	8,5	0,1	0,45

Тип електрода	Марка		Вид покриття
	Електрода	Зварювального дроту	
Е-145-Ф	НІАТ-3	Св-07Х2Г2	Фтористо-кальцієве

Хімічний склад наплавленого металу, %			
C	Si	Mn	Cr
0,18	0,50	1,5	1,53

Додаток 17

Потенціали первиної іонізації деяких елементів

Елемент.	K	Na	Ba	Li	AI	Ca	Cr	Mn	C	H	O	N	He	Cs	Fe
$U_{i..}$	4,32	5,12	5,19	5,37	5,96	6,08	6,74	7,4	11,22	13,53	13,56	14,50	24,5	3,8	4.9

Додаток 18

Основні види світлофільтрів

Основні види світлофільтрів	Позначення	Класифікаційний номер	Марки скла
Струми:			
Від 30-75*А*	Е-1	9	ТС-3
75-200*А*	Е-2	10	ТС-3
200-400*А*	Е-3	11	ТС-3
більше 400*А*	Е-4	12	ТС-3

Додаток 19

Режими ручного дугового зварювання кутових швів зі скосом кромок

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

Додаток 20

Конструктивні елементи підготовлених кромок і виконаних швів у середовищі захисних газів

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромок	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення Способу зварювання	Границі товщини зварних деталей, *мм*
			Підготовлених кромок зварних деталей	Шва зварного з'єднання		
Стикове	Без скосу кромок, замковий	С6			І Н І Нп І П В П	0,5-4,0 0,8-6,0 0,8-6,0 0,8-8,0
Стикове	З ламаним скосом однієї кромки	С14			І П В П	18-100 18-100
Стикове	Із ступінчастим скосом двох кромок	С22			І Нп І П	4-20 4-20
Кутове	З двома симетричними скосами однієї кромки	К8			І Нп І П В П	10-20 10-20 6-100
Таврове	З двома симетричними скосами однієї кромки	Т9			І Нп І П В П	6-20 6-80 6-80
Внапуск	Без скосу кромки	Н2			І Н І Нп І П В П	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*; α – кут скосу кромок, *град.*; B – величина внапуск, мм; δ – товщина торця крайки, що залишилася, *мм*.

Додаток 21

Конструктивні елементи підготовки кромок і виконаних швів автоматичним і механізованим зварюванням під флюсом

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромок	Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Позначення способу зварювання	Межі товщин зварних деталей, *мм*
			Підготовлених кромок зварних деталей	Шва зварного з'єднання		
Стикове	Без скосу кромок,	С2			А; П	2-20
Стикове	Із скосом двох кромок	С17			Аф; АМ	8-24
Стикове	З криволінійним скосом двох кромок	С21			А	24-160
Стикове	З двома симетричними скосами двох кромок	С30			А; П	20-60
Кутове	Із скосом однієї кромки	К3			Апш; Ппш	8-20
Таврове	З двома скосами однієї крайки	Т10			А; П	16-40
Внапуск	Без скосу кромки	Н1			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 опуклості шва, *мм*; K – катет шва, *мм*; R- радіус заокруглення, *мм*; α – кут скосу кромки, *град*.

Додаток 22

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

Показник механічних властивостей	Перші дві цифри індексу	Третя цифра індексу							
		0	1	2	3	4	5	6	7
δ, %	37 41 або 43 51	Кожна 20 18	- 20 18	- 22 18	- 24 20	- 24 20	- 24 20	- 24 20	- 24 20
$T_к$, ^oC	Кожні	нерегламентована	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60

Додаток 23

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	-

Додаток 24

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

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

Використана література

1. Александров О. Г. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням: навч. Посібник для учнів проф.-техн. К.: Техніка, 1998.- 176 с.

2. Акулов А. И. Технология и оборудование сварки плавленим: учебник для вузов/ А. И. Акулов, А. К. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М., 1977.-432 с.

3. Биковський О. Г. Довідник зварника / О. Г. Биковський, І. В. Піньковський. К.: Техніка, 2002. – 336 с.

4. Думов С. И. Технология электрической сварки плавлением. Л., «Машиностроение», 1970, 456 с.

5. Электроды для дуговой сварки, наплавки и резки. Каталог / Ю. А. Мазель, Н. М. Маневич, Г.Н. Полищук. – М.: АО Спецэлектрод, 2000.

6. Зварювання плавленням. Методичні вказівки до курсової роботи студентів напряму підготовки «Зварювання» / О.О. Абрамов. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 88 с.

7. Китаев А. М., Китаев Я. А. Справочная книга сварщика. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

8. Справочник сварщика/Под ред. В. В. Степанова. М.: Машиностроение, 1982. 560 с.

9. Справочник сварщика. Гуменюк. В. В. Степанова. Изд. 3-е. М., «Машиностроение», 1974, 520 с.

10. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 – т.1/Под ред. Н. А. Ольшанского. 1978. 504 с.

11. Технологія електродугового зварювання: Підручник/ І. В. Гуменюк.– К.: Грамота, 2006. – 512 с.