

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Ж. Г. Голобородько,
О. М. Костін, Є. А. Бутурля**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

з дисципліни
**«Технологія та устаткування зварювання плавленням
та зварювальні матеріали»**

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2025

УДК 621.791:681.5(076)

Г61

Автори:

Ж. Г. Голобородько, канд. техн. наук, професор НУК;

О. М. Костін, канд. техн. наук, професор НУК;

Є. А. Бутурля, доктор філософії, викладач НУК

Рецензенти:

В. В. Квасницький, д-р техн. наук, професор Національного технічного університету «КПІ» імені Ігоря Сікорського;

Л. І. Коростильов, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля НУК імені адмірала Макарова;

С. В. Драган, канд. техн. наук, професор НУК, зав. кафедри зварювального виробництва НУК імені адмірала Макарова

*Рекомендовано Вченою радою НУК як навчальний посібник
(протокол № 3 від 28.03.2025 р.)*

Голобородько Ж. Г.

Г61 Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням та зварювальні матеріали» / Ж. Г. Голобородько, О. М. Костін, Є. А. Бутурля. – Миколаїв : НУК, 2025. – 168 с.

ISBN 978-966-321-476-4

Навчальний посібник містить перелік тем лабораторних робіт, короткі теоретичні відомості та рекомендації до виконання практичної частини кожної роботи.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 131 «Прикладна механіка». Може бути корисний для студентів інших спеціальностей, які самостійно вивчають основи зварювального виробництва.

УДК 621.791:681.5(076)

© Ж. Г. Голобородько, О. М. Костін,
Є. А. Бутурля, 2025

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2025

ISBN 978-966-321-476-4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ.....	5
Робота № 1. Ручне дугове зварювання (РДЗ) покритими електродами.....	6
Робота № 2. Механізоване зварювання у вуглекислому газі та його сумішах дротом суцільного перерізу.....	19
Робота № 3. Устаткування для механізованого зварювання у захисних газах порошковим дротом.....	38
Робота № 4. Автоматичне зварювання під флюсом.....	50
Робота № 5. Ручне дугове зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться, в інертних газах	72
Робота № 6. Будова та принцип роботи зварювального поста ПРС-3М.....	98
Робота № 7. Автоматичне вертикальне зварювання стиків.....	108
Робота № 8. Технологія виготовлення складаних таврових балок на верстаті СТС-2М.....	126
Робота № 9. Технологія та устаткування виготовлення площинних секцій.....	136
Робота № 10. Технологія та устаткування приварки шпильок.....	145
Робота № 11. Технологія дугового зварювання чавуну.....	159
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	166

ВСТУП

Технологія та устаткування зварювання плавленням та зварювальні матеріали – це дисципліна, що займається вивченням технологічних особливостей процесів зварювання різних металів, складу зварювальних матеріалів, методів розрахунку режимів зварювання та геометричних параметрів зварних швів, режимів попередньої та наступної термообробки зварних з'єднань.

У процесі виробництва зварних конструкцій вирішальну роль відіграє технологія зварювання. У даній дисципліні розглядаються питання зварювання сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів. Особливе значення приділяється питанням зварювання сталей і сплавів, які застосовуються для виробництва суднових корпусних і машинобудівних конструкцій.

Україна займає гідне лідируюче місце серед виробників обладнання для різноманітних способів зварювання. Лідером у цьому напрямку є Каховський завод електрозварювального обладнання «КЗЕЗУ».

В програмі дисципліни передбачається вивчення будови, принципу дії, переваг та недоліків сучасного устаткування, що застосовується для ручного, механізованого та автоматичного зварювання конструкцій, особливо суднових.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ

Кожен студент, що приступає до виконання лабораторних робіт з курсу, зобов'язаний вивчити інструкції техніки безпеки, пройти інструктаж і розписатися у відповідному журналі.

Безпосередньо перед виконанням роботи необхідно засвоїти наступні основні правила безпеки:

1. Включення електричної схеми для дослідження робиться тільки з дозволу викладача.

2. Усі переключення робити тільки після відключення схеми від електричної мережі.

3. Забороняється доторкатися до електроустаткування та дротів, що знаходяться під напругою.

4. Виміри при вивченні джерел живлення необхідно починати з режиму холостого ходу джерела. Забороняється включати джерела живлення на коротке замикання тривалістю більш 6–8 с.

5. У перервах у роботі потрібно виключати електроустаткування.

6. Більшість обладнання, що застосовують для контролю, містять джерела енергії, які повністю або частково знаходяться під напругою під час роботи, тому роботу на обладнанні можна проводити тільки при наявності заземлення. Включення обладнання необхідно виконувати з дозволу викладача.

7. Після закінчення роботи розібрати схему і прибрати робоче місце.

Робота № 1. Ручне дугове зварювання (РДЗ) покритими електродами

1. Мета роботи

1. Визначити технологічні характеристики плавлення електродів: коефіцієнта розплавлення α_p ; коефіцієнта наплавлення α_n ; коефіцієнта втрат Ψ .
2. Визначити витрату електроенергії при РДЗ.
3. Підібрати марку електродів для заданої марки сталі і товщини деталі та вибрати режим зварювання.

2. Загальні відомості

Запропонований М.Г. Славяновим спосіб зварювання металевим електродом без покриття мав невисоку стабільність горіння дуги та дуже низьку якість зварних з'єднань. Це пов'язано з тим, що плавлення сталі в дуговому розряді супроводжувалось інтенсивним вигоранням вуглецю, мангану та кремнію, з одночасним насиченням зварного шва киснем, азотом та воднем. Метал шва, що був наплавлений електродом без покриття, мав низькі механічні характеристики. Ударна в'язкість зварних швів була більш ніж у 10 разів меншою, ніж у низьковуглецевої сталі.

У 1907 році шведський інженер Оскар Кольберг вперше використав металеві електроди з покриттям, що було нанесено на їх поверхню. Покриття захищало метал шва від впливу повітря, стабілізувало горіння дуги та підвищувало якість зварних з'єднань.

У даний час для зварювання на повітрі успішно використовують широкий спектр покритих електродів, які при розплавленні утворюють надійний газошлаковий захист зварювальної ванни, що забезпечує стабільне горіння дуги та високу якість металу, що наплавляється.

Покриті електроди розроблено для дугового зварювання сталей (у тому числі високолегованих), чавуну та кольорових

металів: міді, бронзи, латуней, мідно-нікелевих сплавів, нікелю, алюмінієвих і магнієвих сплавів тощо.

Ручне дугове зварювання покритими електродами залишається одним з найпоширеніших методів зварювання та широко використовується при виготовленні зварних конструкцій у всьому світі. Це пояснюється універсальністю процесу, простотою та мобільністю устаткування, що застосовується, можливістю виконання зварювання в різних просторових положеннях та місцях, що є важкодоступними для механізованих способів зварювання.

Істотним недоліком ручного дугового зварювання покритими електродами є невисока продуктивність процесу та залежність якості зварного шва від кваліфікації зварника.

2.1. Сутність зварювання покритим електродом

Сутність зварювання покритим електродом полягає в наступному. До електрода і виробу, що зварюється, для збудження та підтримки зварювальної дуги, від джерела живлення підводиться постійний або змінний струм (рис. 1). Дуга розплавляє металевий стрижень електрода, його покриття й основний метал. Покриття, що розплавляється, утворює шлак і гази. Шлак обволікає краплі металу, що утворюються при плавленні електродного дроту. У зварювальній ванні електродний метал змішується з розплавленим металом деталі, що зварюється, а шлак спливає на поверхню ванни.

Розплавлений шлак, що покриває краплі електродного металу і поверхню зварювальної ванни, сприяє запобіганню рідкого металу від контакту з повітрям та бере участь у його металургійній обробці.

Гази, що утворюються при розплавленні покриття, відтискають повітря з реакційної зони (зони дуги) і у такий спосіб сприяють створенню кращих умов для захисту металу шва та прилеглої до нього зони. Для підвищення стійкості горіння дуги в електродне покриття вводять речовини, що містять

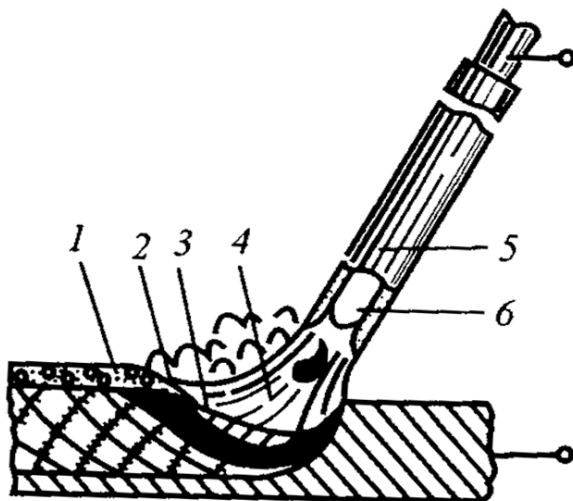


Рис. 1. Схема ручного дугового зварювання покритим електродом:
1 – затверділий шлак; 2 – зварювальна ванна; 3 – шар розплавленого шлаку; 4 – дуга; 5 – електродне покриття; 6 – металевий стрижень

лужні метали. Іони лужних металів, які утворюються у дуговому проміжку, знижують його опір через збільшення ступеня іонізації і роблять дуговий розряд більш стійким.

Оскільки велика частина теплоти виділяється на торці металевого стрижня електрода, на його кінці утворюється конічна втулка з покриття, що сприяє спрямованому рухові газового потоку. Це поліпшує захист зварювальної ванни. Крім того, втулка подовжує дугу, що збільшує її напругу та потужність, а отже, і глибину проплавлення.

Кристалізація металу зварювальної ванни, в міру віддалення дуги, призводить до утворення шва. Зміна електродів, випадкові обриви дуги супроводжуються утворенням кратера (поглиблення у шві). Затверділий шлак утворює на поверхні шва шлакову кірку.

Через те, що від струмопідводу електродотримача зварювальний струм протікає по металевому стрижню електрода,

стрижень розігрівається. Розігрів стрижня підвищується із збільшенням часу протікання зварювального струму. Перед початком зварювання металевий стрижень має температуру навколишнього повітря. На кінцевому етапі розплавлення електрода його температура значно підвищується (у стрижнів зі сталі до $500 \div 600^{\circ}\text{C}$). Це призводить до збільшення швидкості розплавлення електрода порівняно з початковою. Змінюється і глибина проплавлення основного металу через зміну умов тепловіддачі від дуги до основного металу. У результаті порушується співвідношення часток електродного та основного металу, що беруть участь в утворенні зварного шва, а отже, змінюється склад та властивості металу шва, що виконується в межах зварювання одним електродом. Це одна з причин нестабільності властивостей шва за обсягом металу, що наплавляється.

При зварюванні покритими електродами переміщення вздовж лінії стику та подачу електрода в зону дуги при плавленні здійснюють вручну. При цьому виникають труднощі, які пов'язані з підтримкою сталості довжини дуги. Коливання дугового проміжку впливають на зварювальний струм та напругу і, як наслідок цього, на розміри зварювальної ванни та механічні характеристики з'єднання. Тому для підвищення стабільності якості з'єднання використовують джерела живлення з крутоспадними вольт-амперними характеристиками.

2.2. Покриті електроди для РДЗ

Електроди для зварювання сталі представляють собою стрижні, що виготовлені зі зварювального дроту, на поверхню яких нанесено шар покриття. Покриття призначене для підвищення стійкості горіння дуги, утворення комбінованого газошлакового захисту, легування та розкиснення металу шва. Для виготовлення покриттів застосовують різні компоненти.

Іонізуючі та стабілізуючі компоненти – з'єднання, що містять іони лужних металів з низьким потенціалом іонізації (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 , NaF , тобто поташ, крейда, мармур, польова шпат та ін.).

Газоутворюючі компоненти – речовини, що розкладаються з виділенням великого обсягу газу – мармур, крейда, або органічні речовини: декстрин, крохмаль, целюлоза, що при нагріванні, ще до розплавлення металу, у результаті розкладання й окиснення дають багато газоподібних продуктів – CO_2 , CO , H_2 , H_2O .

Значна кількість газів, що утворюється, забезпечує гарний захист від атмосфери повітря, у першу чергу від азоту. У той же час це газове середовище є окиснювачем відносно заліза та легуючих елементів.

Шлакоутворюючі компоненти – мінерали: польовий шпат $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-6\text{SiO}_2$; мармур, крейда CaCO_3 ; глинозем Al_2O_3 ; флюорит CaF_2 ; кварцовий пісок SiO_2 ; іноді гематит Fe_2O_3 ; манганова руда, титановий концентрат TiO_2-FeO та ін.

При сплавленні ці компоненти утворюють шлаки різного складу й основності. Розкиснювачі та легуючі компоненти – кремній, манган, титан та інші, використовують у вигляді порошків сплавів цих елементів із залізом (так званих феросплавів), що швидко розчиняються у рідкому металі. Алюміній у покриття додають у вигляді порошку-пудри.

Деякі компоненти виконують декілька функцій одночасно. Наприклад крейда, яка при розкладанні виділяє великий об'єм газу (CO_2), що забезпечує газовий захист, оксид кальцію, який утворює шлак, та пари кальцію, які мають низький потенціал іонізації та стабілізують дуговий розряд.

Для з'єднання порошків компонентів у їх заміс додають рідке скло або полімери. Нанесення покриття на металевий стрижень здійснюється у спеціальних пресах або методом занурення у рідкий заміс.

Покриття електродів для магнієвих сплавів, аналогічно покриттям для зварювання алюмінієвих сплавів, складається з фтористих та хлористих солей лужних і лужноземельних металів.

2.3. Режими РДЗ покритими електродами

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електрода та значення зварювального струму. Інші параметри підбираються зварником у процесі зварювання.

Діаметр електрода встановлюють залежно від товщини металу, що зварюється, виду зварного з'єднання та розмірів шва. Для стикових з'єднань низьколегованих сталей рекомендуються наступні діаметри електродів залежно від товщини металу, що зварюється, мм:

Товщина крайок	2	3 ÷ 5	6 ÷ 8	9 ÷ 12	13 ÷ 15	16 ÷ 20
Діаметр електрода	≤ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	3 ÷ 4	3 ÷ 4	4 ÷ 5

За обраним діаметром електрода встановлюють значення зварювального струму. Зазвичай, для кожної марки електродів значення струму наведено на заводській етикетці, але можна також визначити його за наступними формулами:

$$I_{зв} = (40 \div 50) \times d_{ел}, \quad (1.1)$$

$$I_{зв} = (20 + 6d_{ел}) \times d_{ел}, \quad (1.2)$$

$$I_{зв} = \pi \times R_{ел}^2 \times j, \quad (1.3)$$

де $I_{зв}$ – зварювальний струм, А;

$d_{ел}$ та $R_{ел}$ – діаметр та радіус електрода відповідно, мм;

j – щільність струму, А/мм².

Отримані значення зварювального струму коригують з огляду на товщину металу та просторове положення зварювання. При товщині крайок (1,3 ÷ 1,6) $d_{ел}$ розрахункове значення зварювального струму зменшують на 10 ÷ 15 %, а при

товщині крайок $>3 d_{\text{ел}}$ – збільшують на $10 \div 15 \%$. Напруга на дузі змінюється від 20 до 36 В. При проектуванні технологічних процесів РДЗ її не регламентують.

Швидкість переміщення дуги (м/год) при нормуванні процесу може бути оцінена залежністю:

$$V_{\text{зв}} = \alpha_{\text{н}} \times I_{\text{зв}} / (\rho \times F_{\text{н}} \times 100), \quad (1.4)$$

де $\alpha_{\text{н}}$ – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год);

ρ – щільність наплавленого металу, г/см³;

$F_{\text{н}}$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу за даний прохід, см².

Значно впливає на якість зварювання довжина дуги. Якщо довжина дуги дорівнює $(0,5 \div 1,1) d_{\text{ел}}$, то дуга горить стабільно та спокійно. Вона забезпечує одержання високоякісного шва, розплавлений метал електрода швидко проходить дуговий проміжок і менше піддається окиснюванню та азотуванню. Занадто коротка дуга, менше $0,5 d_{\text{ел}}$, викликає «примержання» електрода, дуга переривається, порушується процес зварювання. Довга дуга $>1,1 d_{\text{ел}}$ горить нестабільно, з характерним шипінням, зменшується глибина проплавлення, розплавлений метал електрода занадто розбризкується.

2.4. Зварювальні пости для РДЗ

Зварювальні пости дугового зварювання – місце проведення зварювальних робіт – оснащуються залежно від виду зварювальних робіт, обраної технології і ряду інших факторів. Основне устаткування зварювального поста складається з джерела живлення дуги, зварювальних кабелів та інструментів зварника (рис. 2).

Джерела живлення розміщують безпосередньо на робочому місці або групують у машинному відділенні зварювального цеху.

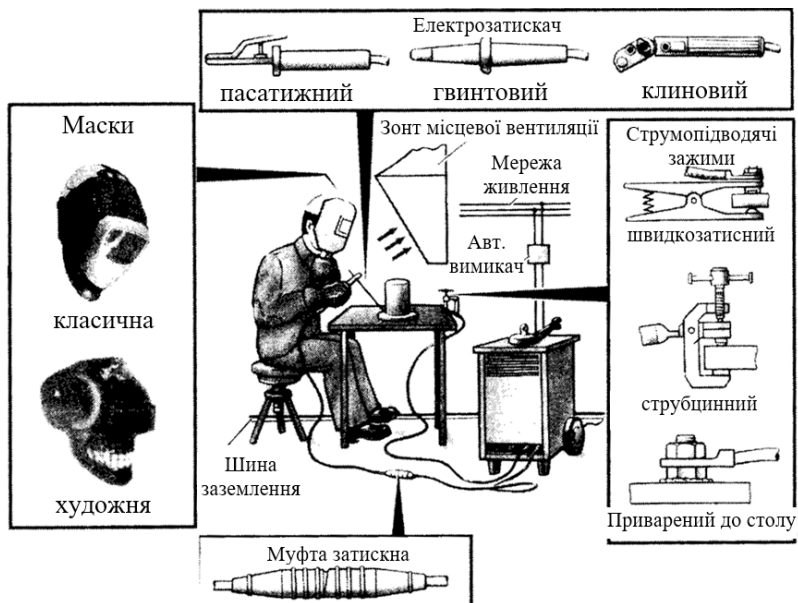


Рис. 2. Устаткування зварювального поста для РДЗ

У зварювальному виробництві для живлення електричної дуги застосовують наступне обладнання: зварювальні перетворювачі, зварювальні апарати змінного струму, зварювальні випрямлячі, інверторні джерела живлення.

Переріз кабелю для зварювання обирають залежно від зварювального струму з розрахунку $5 \div 7 \text{ А/мм}^2$, що відповідає встановленим нормам для електротехнічного обладнання. Практика показала, що характер зварювальних робіт допускає деяке перевантаження і можна користуватися наступними нормами:

Припустимий зварювальний струм, А	200	300	450	600
Площа перерізу кабелю, мм ²				
Одинарного.....	25	50	70	95
Подвійного.....	2×10	2×16	2×25	2×35

Ці норми встановлено для довжини кабелю не більше 30 м. При більшому значенні спадання напруги за довжиною може бути значним і, якщо воно перебільшує припустимі 5 %, необхідно збільшувати переріз кабелю.

Основним інструментом зварника є тримач електродів, який повинен задовольняти наступним технічним вимогам: міцно закріплювати електрод; забезпечувати надійний електричний контакт з електродом; можливість легкої та зручної заміни електродів; мінімальна маса. Тримач повинен забезпечувати без ремонту $8000 \div 10000$ затисків електрода. Маса електродотримача коливається в межах від 0,35 кг (для номінального струму 125 А) до 0,75 кг (для струму 500 А). Електродотримачі виготовляють за державним стандартом наступних типів: ЭД-12 (номінальний струм 125 А); ЭД-20 (200 А); ЭД-25 (250 А); ЭД-31 (315 А); ЭД-40 (400 А); ЭД-50 (500 А).

Для захисту очей та обличчя зварника від випромінювання зварювальної дуги та бризок металу використовують щитки, маски або шоломи. У них є оглядовий отвір, у який встановлюють світлофільтр, що затримує інфрачервоні та ультрафіолетові промені, для зменшення яскравості світлових променів дуги.

Нижче наведено правила вибору марки світлофільтра залежно від величини зварювального струму:

Струм, А	$30 \div 75$	$75 \div 200$	$200 \div 400$	> 400
Марка світлофільтра	Э1	Э2	Э3	Э4

Для зачищення крайок та очищення зварних швів від шлаку використовують металеві щітки: ручні та з електроприводом. Для контролю розмірів швів повинен бути набір шаблонів.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Джерело живлення постійного струму – зварювальний випрямляч КИГ-401 (або КИУ-501).
2. Джерело змінного струму – трансформатор ТДМ-259 (або ТДМ-317).
3. Зварювальний пост для РДЗ (п. 2.4, рис. 2).
4. Електроди УОНИ 13/55 (або ОК 48.00) та Моноліт РЦ (або АНО-21).
5. Ваги лабораторні, лінійка, секундомір, штангенциркуль, мікрометр, планки з низьковуглецевої сталі.
6. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

3. Порядок виконання роботи

Послідовність роботи на зварювальному посту для РДЗ (рис. 2):

- зачистити до металевого блиску пластину з низьковуглецевої сталі $100 \times 150 \times 10$ мм з двох сторін (інструмент – дротова щітка, наждачний папір);
- знежирити поверхню пластини бензином або ацетоном;
- зважити пластину;
- знявши з одного електрода покриття, зважити пруток електродного дроту, визначити масу 1 мм прутка, обчислити масу прутка (за довжиною) для кожного з трьох електродів, якими буде виконуватися наплавлення;
- скласти схему включення електроприладів (амперметра до 300 А та вольтметра до 75 В) на зварювальних постах постійного та змінного струму;
- виконати наплавлення електродом на постійному струмі прямої та зворотної полярності, а також на змінному струмі згідно з режимами, що зазначені на заводській етикетці електродів або розраховані відповідно до п. 2.3 (формули 1.1,

1.2, 1.3). Наплавлення кожного наступного валика виконувати після остигання пластини до $50 \div 100^\circ\text{C}$;

- заміряти час горіння дуги (секундоміром) та параметри режиму зварювання (зварювальний струм, напруга дуги);

- очистити металевою щіткою валики від шлаку та бризок до блиску; зважити пластини та залишки електродів (без обмазки), зважування виконувати після наплавлення кожного валика;

- отримані результати зафіксувати в табл. 1.

3.1. Визначення коефіцієнтів розплавлення (α_p), наплавлення (α_n) та втрат Ψ :

- обчислити коефіцієнт розплавлення α_p , користуючись формулою:

$$\alpha_p = \frac{(G_{\text{ел}} - G_{\text{ост}}) \times 3600}{I_{\text{зв}} \times t} \text{ г/(А} \times \text{год)}, \quad (1.5)$$

де $G_{\text{ел}}$ і $G_{\text{ост}}$ – маса, г, електродного стрижня (без обмазки) та його залишку відповідно;

$I_{\text{зв}}$ – зварювальний струм, А;

t – час горіння дуги, с;

- обчислити коефіцієнт наплавлення α_n за формулою:

$$\alpha_n = \frac{G_n \times 3600}{I_{\text{зв}} \times t} \text{ г/(А} \times \text{год)}, \quad (1.6)$$

де G_n – маса наплавленого металу, г;

- обчислити коефіцієнт втрат Ψ за формулою:

$$\Psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100, \%, \quad (1.7)$$

де $G_p = G_{\text{ел}} - G_{\text{ост}}$;

- проаналізувати отримані результати.

Таблиця 1 – Маса пластин та електродів до та після наплавлення

Номер пластини	Номер шва	Маса пластини, г		Маса наплавленого металу, г	Маса стрижня електрода, г		Маса електродного металу, що розплавився, г	Втрати на угар, розбризкування
		до зварювання	після зварювання		до зварювання	після зварювання		

3.2. Визначення витрати електроенергії

Визначити витрату електроенергії на дузі при наплавленні валика за формулою:

$$A = I_{\text{зв}} \times U_{\text{д}} \times t \times (1/3,6) \times 10^{-8}, \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (1.8)$$

- визначити витрату електроенергії на 1 кг наплавленого металу:

$$a = A / G_{\text{н}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}; \quad (1.9)$$

- користуючись отриманими даними, побудувати графіки витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу, залежно від сили зварювального струму при зварюванні на постійному та змінному струмі.

3.3. Вибір електродів, режимів зварювання та устаткування для РДЗ

За товщиною деталі, що зварюється, та маркою сталі вибрати електроди та режими зварювання. Підібрати устаткування для зварювального посту.

4. Зміст звіту

- Звіт повинен містити:
 1. Основні положення теорії та технології РДЗ.
 2. Методики проведення експериментів по визначенню витрати електроенергії і коефіцієнтів розплавлення, наплавлення, втрат на чад та розбризкування, результати яких представлені у вигляді таблиць і графіків.

3. Результати виконання індивідуального завдання по вибору марки електродів, режимів зварювання та устаткування для заданої марки сталі і товщини деталей, що зварюються.

5. Контрольні питання

- Переваги і недоліки ручного дугового зварювання покритими електродами.
- Які компоненти входять до складу покриття електродів? Їхнє призначення.
- Назвіть технологічні характеристики плавлення електродів.
- Основні параметри режиму РДЗ та методика їхнього вибору.
- Назвіть основне устаткування зварювального поста.
- Чим керуються при виборі перерізу зварювального кабелю?
- Як обирається світлофільтр для маски електрозварника?
- Основні види травматизму при дуговому зварюванні.
- У зв'язку з чим виникає небезпека ураження електричним струмом при зварюванні?
- З чим пов'язана необхідність заземлення електричних установок?
- Яким чином забезпечити безпеку зварника при електрозварювальних роботах у особливо небезпечних місцях (у казанах, цистернах та ін.)?
- Чи дозволяється зварникові підключатися до мережі та відключатися від мережі, а також ремонтувати електрозварювальні агрегати?

Робота № 2. Механізоване зварювання у вуглекислому газі та його сумішах дротом суцільного перерізу

1. Мета роботи

1. Ознайомлення з функціональними можливостями, технічними даними і будовою апарату для дугового зварювання в середовищі вуглекислого газу та його сумішах дротом суцільного перерізу:

- (на прикладі А-547У або подібного);
- з конструкцією зварювального пальника;
- з призначенням, будовою і технічними даними газового устаткування робочого поста для зварювання у вуглекислому газі та його сумішах. Набуття практичних навичок виконання зварних швів.

2. Визначення впливу параметрів режиму зварювання на коефіцієнт розплавлення (α_p), наплавлення (α_n), втрат на чад і розбризкування (Ψ).

3. Визначення витрати електроенергії.

4. Аналіз впливу технологічних параметрів режиму зварювання на геометричні розміри зварного шва та вибір режиму зварювання.

2. Загальні відомості

У виробництві зварних конструкцій з низьковуглецевих та низьколегованих сталей широко застосовується механізоване, менше – автоматичне зварювання у вуглекислому газі.

Механізоване зварювання у вуглекислому газі застосовують в одиничному, дрібносерійному та рідше – у серійному виробництвах для виконання коротких швів виробів невеликої товщини.

Переваги цього способу зварювання наступні:

- підвищення продуктивності порівняно з ручним зварюванням у $1,2 \div 1,5$ рази;
- можливість зварювання у будь-якому просторовому положенні всіх типів кутових та стикових швів;

- висока маневреність і мобільність (порівняно з автоматичним зварюванням);
- можливість візуального контролю за формуванням зварного шва.

Механізоване зварювання у вуглекислому газі має наступні недоліки:

- сильне розбризкування металу при зварюванні на струмах 200 ÷ 400 А та необхідність видалення бризок металу з поверхні виробу;
- обмежене використання на відкритому повітрі (на вітрі) через здування захисного газу;
- зовнішній (товарний) вигляд шва гірше, ніж при зварюванні під флюсом.

При зварюванні у CO_2 формується атмосфера, яка при взаємодії із рідкою зварювальною ванною сильно окиснює метал та всі легуючі елементи.

Кисень, що розчиняється у сплаві, може реагувати з домішками металу з утворенням шлаків та газів.

У хвостовій частині зварювальної ванни шлак спливає на поверхню металу, а газоподібні продукти, що утворюються, можуть спровокувати появу пор у металі шва.

Для зв'язування кисню, що розчиняється у рідкому металі, потрібно застосовувати електродні дроти, що містять розкиснювачі, які попереджають окиснення легуючих елементів та суттєво зменшують процес вигорання вуглецю металу, що зварюється.

2.1. Сутність процесу зварювання у вуглекислому газі

Крайки виробу, що зварюється, розплавляються дугою, яка горить між виробом та електродним дротом, що безупинно надходить у дугу та служить одночасно присадним матеріалом. Дуга розплавляє дріт та крайки виробу, що утворює зварювальну ванну. Дуга, метал зварювальної ванни, електрод та прилеглі зони захищені від впливу повітря газом,

що подається у зону зварювання пальником. По мірі переміщення дуги зварювальна ванна кристалізується та утворює зварний шов (рис. 1).

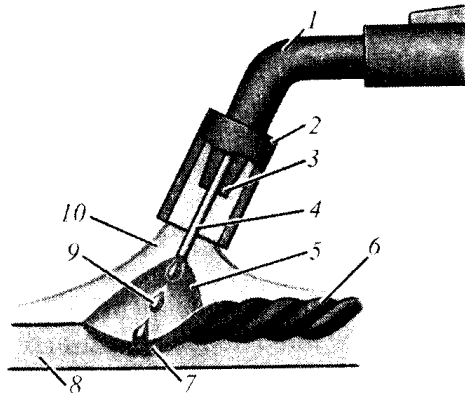
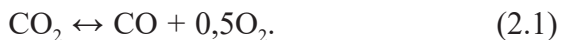


Рис. 1. Схема процесу механізованого зварювання у середовищі вуглекислого газу:

- 1 – пальник; 2 – сопло; 3 – струмопідвід; 4 – електродний дріт;
5 – зварювальна дуга; 6 – зварний шов; 7 – зварювальна ванна;
8 – основний метал; 9 – краплі електродного металу; 10 – газовий захист

Склад вуглекислого газу, що подається у зону зварювання, змінюється за рахунок його дисоціації, взаємодії з металом, змішування з газами та парами, що виділяються при плавленні металу дугою, та змішування з парами та газами, що утворюються в результаті нагрівання речовин, які забруднюють поверхню електродного дроту та основного металу.

Зміна складу захисної атмосфери в зоні зварювання, яка є результатом термічної дисоціації вуглекислого газу, відбувається за формулою:



Зміна складу захисного газу у реакційній зоні (формула 2.1), без урахування його розведення парами та газами, що виділяються з металу, наведена на рис. 2.

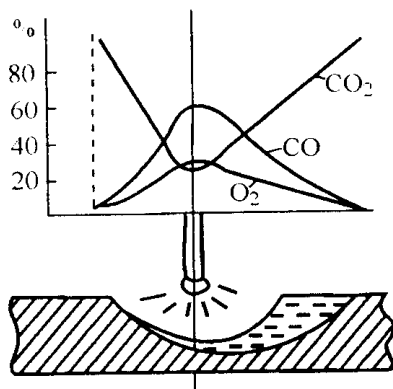
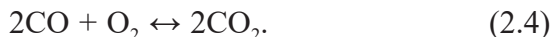


Рис. 2. Зміна складу вуглекислого газу у реакційній зоні за результатами його дисоціації

Метал та легуючі елементи сплаву окиснюються безпосередньо вуглекислим газом або киснем, який утворюється при термічній дисоціації вуглекислого газу, за наступними реакціями:



На ділянках, які віддалені від осі стовпа дуги, відбувається рекомбінація молекул CO_2 , яка супроводжується виділенням великої кількості теплової енергії, що раніше витрачалась на дисоціацію газу (за деякими даними до 30 % електричної потужності дуги):



Це призводить до збільшення глибини проплавлення та зменшення ширини шва порівняно із дугою, що горить в аргоні.

При зварюванні у вуглекислому газі перехід водню із захисної атмосфери у рідкий метал обмежений наступними факторами:

- видаленням водню із зони зварювання потоками захисного газу;

- взаємодією вуглекислого газу із молекулярним та атомарним воднем;
- підвищенням окиснення поверхні металу.

У цьому зв'язку, процес зварювання у вуглекислому газі забезпечує меншу схильність до утворення пор, які провокуються воднем, та менший вміст водню в металі, що наплавляється, порівняно з іншими способами дугового зварювання.

2.2. Вибір параметрів режиму зварювання

До основних параметрів режиму зварювання відносяться сила струму, напруга дуги, полярність струму, діаметр електродного дроту, швидкість зварювання, виліт електрода та витрата захисного газу.

Зварювання звичайно виконують на постійному струмі зворотної полярності. За прямої полярності швидкість розплавлення у $1,4 \div 1,6$ рази вища, ніж при зворотній, однак дуга горить менш стабільно, що супроводжується інтенсивним розбризкуванням.

Діаметр зварювального дроту $d_{\text{ел}}$ обирається залежно від товщини металу, що зварюється, δ :

δ , мм	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	4,0	5,0	8,0	8,0	12	18
$d_{\text{ел}}$, мм	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,0	2,0	2,5

Збільшення діаметра електродного дроту (при рівних умовах) супроводжується істотним зменшенням коефіцієнту наплавлення, деяким збільшенням ширини шва та зменшенням глибини проплавлення основного металу.

Зварювальний струм істотно впливає на процес зварювання. Підвищення сили струму збільшує глибину проплавлення (рис. 3). При цьому кількість металу, що наплавляється, зростає повільніше, ніж проплавлення.

Отже, і частка електродного металу в металі шва істотно зменшується, що значно підвищує можливість появи гарячих тріщин у металі шва, який виконується на сталях із

підвищеним вмістом вуглецю. Ширина шва з підвищенням сили струму спочатку збільшується, а потім трохи зменшується. Оптимальні режими зварювання відповідають максимальній ширині шва. Струм регулюють швидкістю подачі зварювального дроту.

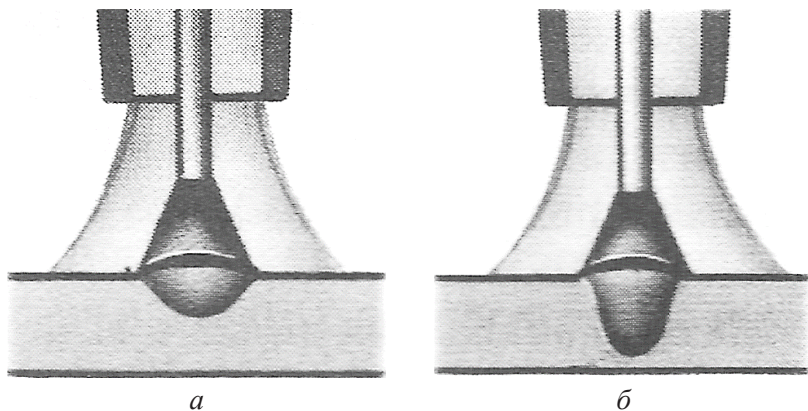


Рис. 3. Вплив зварювального струму 100 А (а), 200 А (б) на глибину проплавлення

Із зростанням напруги на дузі глибина проплавлення зменшується, а ширина шва та розбризкування металу збільшуються (рис. 4). Погіршується газовий захист, утворюються пори. Напругу на дузі встановлюють залежно від сили зварювального струму та регулюють положенням вольт-амперної характеристики за рахунок зміни напруги холостого ходу джерела живлення.

Швидкість подачі електродного дроту пов'язана зі зварювальним струмом. Її встановлюють так, щоб процес зварювання відбувався стабільно, без коротких замикань та обривів дуги.

Швидкість зварювання встановлюють залежно від товщини металу, що зварюється, з урахуванням забезпечення якості формування шва. Метал великої товщини краще зварювати вузькими швами з високою швидкістю.

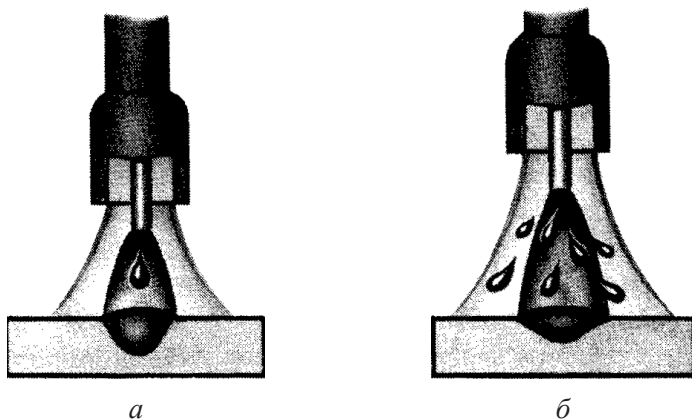


Рис. 4. Вплив напруги дуги 16 В (а) і 40 В (б)
на процес зварювання

Повільне зварювання сприяє розростанню зварювальної ванни та підвищує ймовірність утворення пор у металі шва. При надмірній швидкості зварювання може окиснюватись кінець дроту та метал шва.

Якість зварних швів залежить від чистоти CO_2 , його витрати та характеру витікання із сопла пальника. Захисний газ повинен витікати із сопла під невеликим тиском ($0,01 \div 0,03$ МПа), що забезпечує ламінарний (спокійний) характер витікання. Така важлива вимога виконується, якщо витрата газу складає $8 \div 12$ л/хв для діаметра електродного дроту $0,8 \div 1,2$ мм. Турбулентний характер витікання газового потоку погіршує якість захисту зони зварювання внаслідок можливого підсмоктування повітря в цю зону.

Виліт електрода – це відстань від кінця струмопідводу до торця зварювального дроту (рис. 5). Зі збільшенням вильоту погіршуються стійкість горіння дуги та якість формування шва, збільшується інтенсивність розбризкування металу. Малий виліт негативно впливає на процес зварювання, викликає підгоряння сопла та струмопідводу, що виводить їх із ладу.

Залежність вильоту електрода від його діаметра має наступний вигляд:

Діаметр дроту, мм	$0,5 \div 0,8$	$1 \div 1,4$	$1,6 \div 2$	$2,5 \div 3$
Виліт електрода, мм	$7 \div 10$	$8 \div 15$	$15 \div 25$	$18 \div 30$
Витрата газу, л/хв	$5 \div 8$	$8 \div 16$	$15 \div 20$	$20 \div 30$

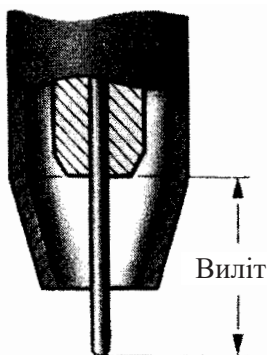


Рис. 5. Схема зварювального пальника

Оптимальне співвідношення параметрів режиму зварювання забезпечує стабільність процесу на трьох стадіях:

1 стадія – запалювання дуги та встановлення робочого режиму зварювання;

2 стадія – широкий діапазон робочих режимів;

3 стадія – період закінчення зварювання.

Технологія механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах аналогічна ручному дуговому зварюванню штучним електродом.

Метал товщиною від 0,8 до 4 мм рекомендується зварювати без обробки крайок у складально-зварювальних пристосуваннях на знімних мідних або нержавіючих підкладках, або підкладках, що залишаються.

При зварюванні у вуглекислому газі для попередження появи дефектів у вигляді невеликих несплавлень не

рекомендується переміщувати електрод «змійкою». Підвищена схильність до появи локальних несплавлень при механізованому зварюванні у вуглекислому газі, порівняно із ручним дуговим зварюванням та зварюванням у середовищі аргону неплавким електродом, пояснюється порівняно меншими розмірами стовпа дуги та електродної плями, що може викликати натікання рідкого металу на твердий метал без попередньої обробки останнього зварювальною дугою. Саме тому важливою є висока кваліфікація зварника, який допущений до виконання подібного виду робіт.

3. Пост для механізованого зварювання

Апарат А-547У призначений для електродугового механізованого зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей плавким суцільним електродним дротом (діаметром 0,8...1,4 мм) у вуглекислому газі та його сумішах. Апаратом можна виконувати зварювання різних з'єднань листового металу без скосу крайок товщиною до 3 мм та кутових з'єднань з катетом шва до 4 мм постійним струмом зворотної полярності від джерела живлення з жорсткою чи спадною зовнішньою характеристикою, від генератора постійного струму або випрямляча.

Технічні характеристики

Діаметр електродного дроту, мм	0,8...1,4
Межі регулювання зварювального струму, А	70...315
Напруга зварювання, В	16...32
Швидкість подачі електродного дроту	
при діаметрі ролика 18 мм, м/год	120...350
при діаметрі ролика 32 мм, м/год	280...700
при діаметрі ролика 47 мм, м/год	500...1200
Зміна швидкості подачі електродного дроту	ступінчасто-плавна
Маса електродного дроту в касеті, кг	до 5,5
Маса механізму подачі без дроту, кг	5,9
Максимальна витрата газу, л/хв	15

Комплектність напівавтомату

Напівавтомат шланговий А-547У складається з таких вузлів:

- а) механізм подачі зварювального дроту;
- б) зварювальний пальник;
- в) гнучкий шланг;
- г) кнопка вмикання зварювання;
- д) пульт керування;
- е) підігрівач захисного вуглекислого газу;
- є) джерело живлення постійного струму (випрямляч КИУ-501 та ін.).

Крім того, зварювальна установка комплектується балоном з вуглекислим газом, на якому встановлюють редуктор та осушувач газу (рис. 6).

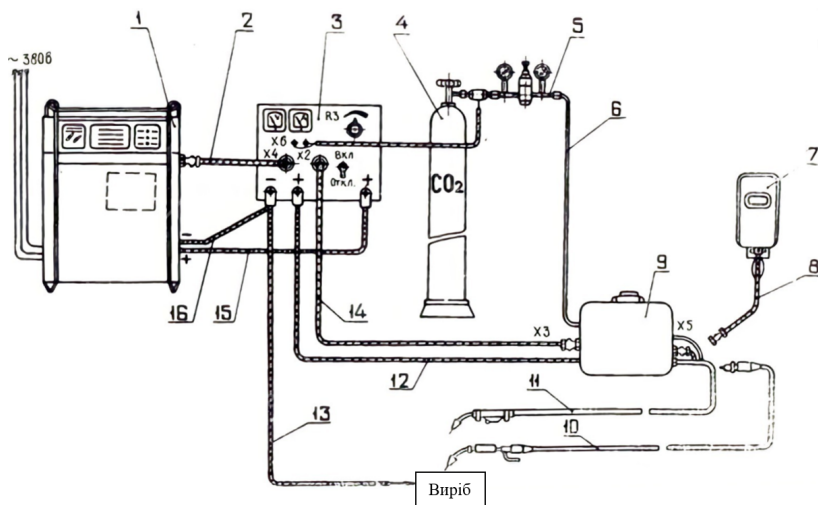


Рис. 6. Схема зварювального посту:

- 1 – випрямляч; 2 – кабель; 3 – пульт керування; 4 – балон з вуглекислим газом; 5 – редуктор для CO₂ з витратоміром та підігрівачем газу; 6 – трубка підведення газу; 7 – захисний щиток; 8 – кнопка включення; 9 – механізм подачі; 10, 11 – пальники; 12 – дріт зварювальний; 13 – дріт заземлення; 14, 15, 16 – дріти, що з'єднують

Механізм подачі електродного дроту змонтований у компактному корпусі, що має форму невеликої валізки з ручкою (рис. 7). Він являє собою електродвигун постійного струму марки Д-90 потужністю 90 Вт, з частотою обертання $n = 7500$ об/хв. Редуктор електродвигуна – черв’ячно-циліндричний. На штир у підставі валізи вільно ставиться котушка, що вміщує до 5,5 кг електродного дроту.

Подавальний двохоликовий механізм встановлено на силуміновому кронштейні. Ролики мають насічку по циліндричній поверхні. Обертання роликів здійснюється від вихідного вала черв’ячного колеса редуктора. Притискний ролик закріплений на коромислі, за допомогою якого він притискається до подавального ролика, розташованого знизу. Зусилля притискання регулюється гвинтом із пружиною всередині. Трубка, що знаходиться у вертикальному важелі коромисла, направляє електродний дріт у подавальні ролики.

У коліні горизонтального важеля коромисла зроблено виріз, у який вставляють та закріплюють болтом кінець гнучкого шлангу. На стінках корпусу механізму подачі встановлено два штепсельних роз’єднувачі для приєднання дротів, що йдуть від пускової кнопки, та для підключення двигуна до пульта керування. Через отвір на лівій стінці корпусу механізму подачі проходить зварювальний дріт, кінець якого закріплюють болтом до підставки кронштейна натискного пристрою. Другий отвір, меншого діаметра, використовується для подачі електродного дроту з бухти, яка знаходиться на вертушці. Під час роботи апаратом на стаціонарному робочому місці це звільняє від операції перемотування дроту на котушку. На внутрішніх стінках корпусу механізму подачі дроту прокладені дроти ланцюгів керування. Механізм подачі дроту встановлюється біля робочого місця та переноситься за ручку чи на ремені через плече, або встановлюється на Г-подібній балці консольного типу.

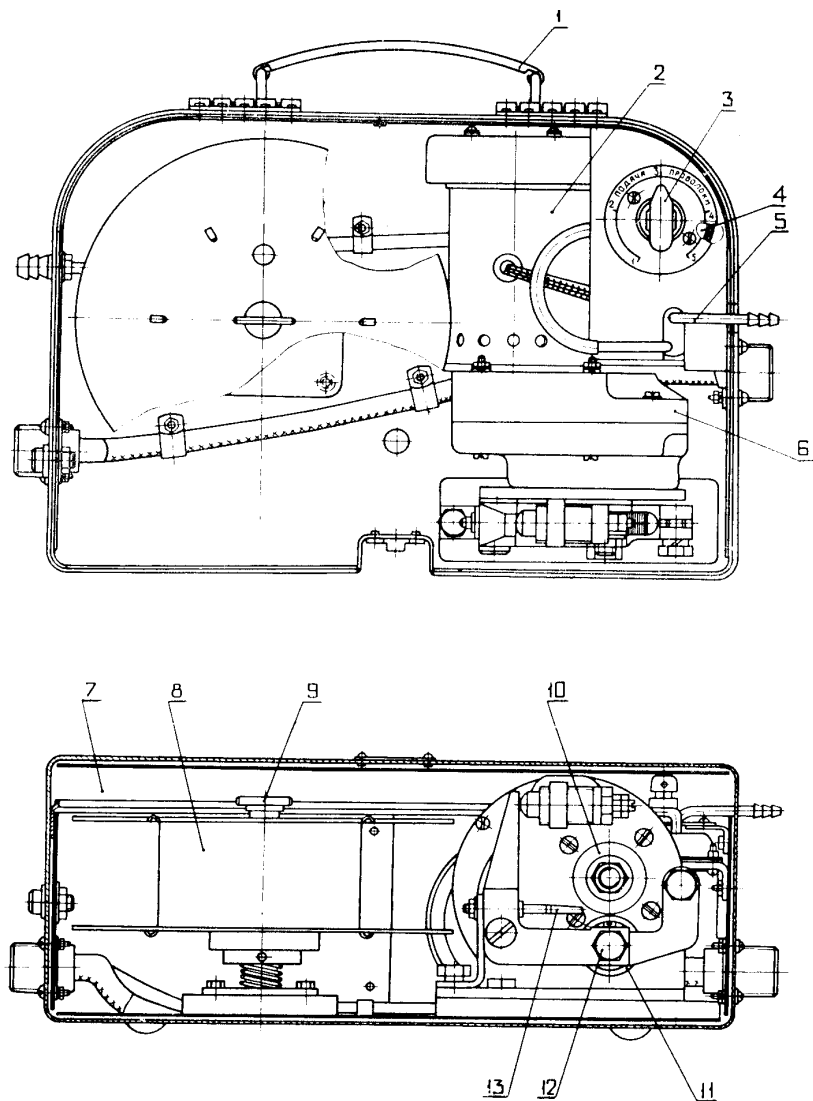


Рис. 7. Механізм подачі зварювального дроту:

1 – ручка; 2 – електродвигун; 3 – регулятор подачі; 4 – резистор;
 5 – відсікач газу; 6 – редуктор; 7 – корпус; 8 – касета; 9 – гвинт;
 10 – ролик подачі; 11 – підшипник; 12 – ексцентрик; 13 – трубка

Пальник апарата призначений для підведення зварювального струму, електродного дроту та вуглекислого газу безпосередньо до місця зварювання (рис. 8). Він складається з рукоятки, мундштука зі спеціальним наконечником та соплом для газу. Через змінний наконечник газ безперервним струменем надходить у зону зварювання. Сопло направляє потік захисного газу на зварювальну ванну. Воно виготовляється з мідної трубки з хромованою поверхнею. Розвальцьованим кінцем воно легко насаджується на азбестову оболонку пальника, що служить ізоляцією сопла від струмоведучих частин.

Гнучкий шланг має довжину 3000 мм. Він складається із багатожильного мідного гнучкого дроту, всередині якого проходить сталева або тефлонова гнучка спіраль. Один кінець шлангового дроту закріплюється у механізмі подачі, інший – у пальнику. На кінці шланга встановлюється направляюча трубка, що притискається накидною гайкою до наконечника. Наконечник виготовлений із мідної трубки, у яку входить спіраль шланга. Кінець накидної гайки затискається у струмоведучому хомуті механізмі подачі. Зварювальний струм проходить по накидній гайці та через наконечник – на притиснуті до нього жили мідного дроту. Для надійного струмопідводу на місце з'єднання натягається гумова муфта, яка закріплюється бинтовою стяжкою. Другий кінець шланга має коробчасту конструкцію. На наконечнику зроблено два фігурних вирізи для кріплення до пальника.

Кнопка вмикання. Пускова кнопка служить для вмикання зварювального струму та двигуна подачі електродного дроту. Дроти кнопки підключаються до штепсельного роз'єднувача на подавальному механізмі. Кнопка встановлюється на ручці пальника.

Підігрівач та осушувач газу застосовують при зварюванні у середовищі вуглекислоти. Обов'язково використовують електричний підігрівач газу та, бажано, передредукторний або адсорбційний осушувач.

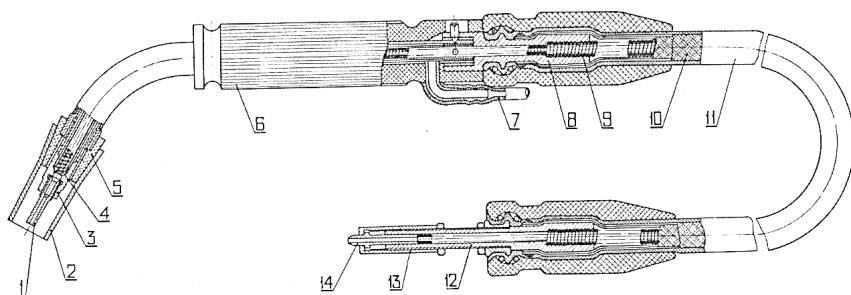


Рис. 8. Пальник із гнучким шлангом:

- 1 – наконечник; 2 – сопло; 3 – мундштук; 4 – спіраль; 5 – втулка;
6 – корпус; 7 – трубка підведення газу; 8 – спіраль шланга; 9 – гнучка
спіраль із сталевго дроту; 10 – плетінка; 11 – гумовий шланг

Електричний підігрівач підвищує температуру газу перед надходженням його у редуктор. Він складається з корпусу, нагрівальної спіралі, кожуха, клем для підключення струму та теплоізоляційного набивання. Живлення підігрівача здійснюється струмом напругою 36 В. Осушувач газу встановлюють після підігрівача, перед редуктором. Як реагент, що осушує газ, застосовують зневоднений мідний купорос $\text{Cu}_4\text{5H}_2\text{O}$, який має у сухому стані сіро-бурий, а у вологому – блакитний колір. Недоліком осушувача є необхідність частого його перезарядження.

Адсорбційний осушувач встановлюють після газового редуктора. Спосіб осушування заснований на адсорбції (поглинанні) водяних парів газу силікагелем, яким заповнюють осушувач. Вологу із насиченого силікагелю усувають шляхом нагрівання його до температури 120...200 °С. Нагрівання цілком відновлює властивості силікагелю.

Електрична схема апарату А-547У

Принципова електрична схема напівавтомата А-547У для зварювання у вуглекислому газі наведена на рис. 9. Двигун

подачі електродного дроту отримує живлення безпосередньо від затискачів зварювального випрямляча.

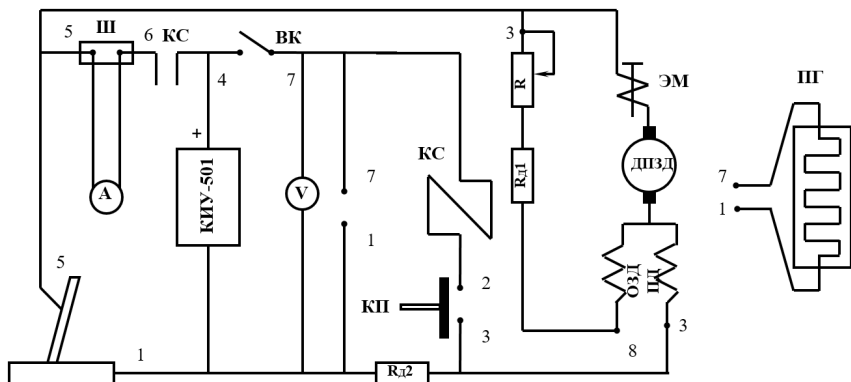


Рис. 9. Принципова електрична схема апарата А-547У:

1–5 – підключення до деталі та пальника відповідно; 1–7 – підключення підігрівача газу (ПГ); 5–6 – підключення амперметра до шунта; 6–4 – контакти КС (контактора силового); 2–3 – контакти кнопки пуск (КП); 8–3 – підключення ОЗДПЕД (обмотки збудження двигуна подачі електродного дроту); ЕМ – електромагнітна муфта; R – реостат регулювання швидкості подавання електродного дроту; Ш – шунт для підключення амперметра; ПГ – підігрівач газу; ВК – вимикач

Швидкість подачі електродного дроту регулюється плавною зміною струму в обмотці збудження двигуна ДПЕД за допомогою реостата R. Її можна збільшити до 6 м/хв, якщо подавальний ролик діаметром 18 мм замінити роликом діаметром 32 мм, що входить у комплект запасних частин напівавтомата. Для швидкої зупинки подачі дроту при закінченні зварювання між валом двигуна ДПЕД та входним валом редуктора встановлена електромагнітна муфта ЕМ, обмотка якої вмикається послідовно в ланцюг якоря двигуна ДПЕД, тому електромагнітна муфта ЕМ вмикається одночасно із ним. При вимиканні струму в обмотці муфти відбувається відключення

передачі з редуктора на подавальні ролики шляхом роз'єднання обох частин електромагнітної муфти за допомогою пружини. Такий принцип управління забезпечує швидке припинення подачі дроту та запобігає його приварюванню до металу шва наприкінці зварювання.

Перед початком зварювання включають зварювальний випрямляч, на затискачі якого за допомогою вимикача ВК підключають пульт управління та реостатом R виставляють необхідну швидкість подачі дроту.

Краном на редукторі подають вуглекислий газ. Регулюють витрату газу редуктором. Встановлюють заданий виліт електродного дроту з мундштука та підводять пальник до деталі.

Пуск апарата здійснюється шляхом натискання кнопки КП, що розміщена на пальнику. При цьому спрацьовує контактор КС, який підключає випрямляч до затискачів зварювальних кабелів та двигуна подачі електродного дроту ДПЕД. Електродний дріт подається до деталі під напругою і в момент торкання його із металом, внаслідок високої щільності струму, збуджується зварювальна дуга. У процесі зварювання дріт подається в зону дуги зі швидкістю, що дорівнює швидкості його плавлення. Плавильний простір під час зварювання захищається вуглекислим газом. Зварювальний пальник переміщується вручну вздовж зварного шва. Режим зварювання контролюється за допомогою амперметра та вольтметра. Для зупинки напівавтомату відпускається пускова кнопка КП та підіймається пальник над деталлю. Після цього коло котушки контактора КС розмикається, вимикається зварювальний струм, зупиняється двигун ДПЕД та подача електродного дроту припиняється. Схема знову переходить у початковий стан.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Зварювальний випрямляч КИУ-501 (або ВДУ-506, КИГ-401).
2. Напівавтомат А-547У (або КП 015, КП 007, КП 019).

3. Пост для механізованого зварювання (п. 3, рис. 6).
4. Дріт зварювальний Св-08Г2С (або ОК AristoRod 12.50), вуглекислота.
5. Ваги лабораторні, лінійка, секундомір, штангенциркуль, мікрометр, планки з низьковуглецевої сталі.
6. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

1. При ознайомленні з устаткуванням зварювальної ділянки механізованого зварювання виконати наступні задачі:
 - вивчити конструкцію апарата;
 - вивчити принципову та монтажну електричну схему апарата;
 - вивчити конструкцію та будову зварювального пальника;
 - вивчити конструкцію та принцип дії газового устаткування (регулятор тиску та витрати газу, підігрівач, осушувач, ротаметр);
 - змонтувати устаткування зварювального поста (апарат, пальник, газове устаткування, балон з вуглекислотою);
 - виконати зварювання стикового з'єднання на режимах, що надав викладач. Отримані результати занести до табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри механізованого зварювання та час наплавлення

№ з/п	Режим зварювання				Виліт електрода, мм	Час наплавлення, с	Марка дроту
	$I_{зв},$ А	$U_{д},$ В	Полярність	$V_{зв},$ м/год			

2. Визначити коефіцієнти розплавлення (α_p), наплавлення (α_n), втрат на чад та розбризкування (Ψ) залежно від величини зварювального струму, відповідно до методики, описаної у роботі № 1.

3. Визначити питому витрату електроенергії за формулою:

$$A = (I_{\text{зв}} \times U_{\text{д}} / k \times V_{\text{зв}}) \times 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}, \quad (2.5)$$

де k – коефіцієнт корисної дії джерела живлення ($k \approx 0,8$).

- Виконати індивідуальне завдання: для заданого викладачем виду з'єднання, за маркою сталі та її товщиною, обрати та обґрунтувати режими зварювання.

- На обраному режимі здійснити контрольне зварювання.

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити наступну інформацію:

1. Основні положення технології зварювання в CO_2 .
2. Опис, призначення й технічні характеристики апарата (А-547У або подібного), його принципова електрична схема.
3. Опис конструкції та будови зварювального пальника для механізованого зварювання у CO_2 .
4. Опис будови та характеристик газового устаткування робочого поста для зварювання у вуглекислому газі.
5. Схему поста для зварювання у вуглекислому газі.
6. Методику проведення досліджень по визначенню коефіцієнтів розплавлення, наплавлення, втрат на чад та розбризкування.
7. Результати виконання індивідуального завдання.
8. Загальні висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Переваги та недоліки зварювання у CO_2 .
- Для яких матеріалів використовується зварювання у CO_2 ?
 - Зварювальні матеріали, що використовують при зварюванні у CO_2 .
 - Склад газу в реакційній зоні при зварюванні у CO_2 .

- Реакції окиснення заліза та легуючих елементів при зварюванні у CO_2 .
- Механізм захисту зварювальної ванни від взаємодії з азотом.
- Якими параметрами характеризується режим зварювання у CO_2 ?
- Як впливають параметри режиму зварювання на геометричні розміри зварювальної ванни?
- Чому процес зварювання у CO_2 характеризується великою величиною проплавлення?
- Дотримання яких умов при зварюванні у CO_2 сприяє зменшенню розбризкування електродного металу?
- Чим керуються при виборі діаметра зварювального дроту?
- Як пов'язані між собою зварювальний струм та діаметр зварювального дроту?
- Від чого залежить витрата вуглекислого газу при зварюванні?
- Що входить до складу робочого поста для зварювання у CO_2 ?
- Основні елементи напівавтоматів для зварювання у CO_2 .
- Які механізми подачі дроту застосовують у напівавтоматах?
- Основні характеристики пальників для зварювання у CO_2 .
- Яке газове устаткування використовують для зварювання у CO_2 ?

Робота № 3. Устаткування для механізованого зварювання у захисних газах порошковим дротом

1. Мета роботи

1.1. Ознайомлення:

- з функціональними можливостями, технічними даними та будовою апарата для дугового зварювання порошковим дротом у середовищі вуглекислого газу (на прикладі КП 016 або подібного);
- з призначенням, будовою та технічними даними газового устаткування робочого поста для зварювання у вуглекислому газі або сумішах газів. Набуття практичних навичок виконання зварних швів.

1.2. Виконати зварювання на різноманітних режимах, розрахувати погонну енергію зварювання та заміряти геометричні параметри зварних швів. Визначення витрати електроенергії.

1.3. Аналіз впливу технологічних параметрів режиму зварювання на геометричні розміри зварного шва та вибір режиму зварювання.

2. Загальні відомості

Виробництво зварних суднокорпусних конструкцій з низьковуглецевих та низьколегованих сталей широко застосовує механізоване зварювання суцільним та порошковим дротом у вуглекислому газі стикових, таврових, кутових та напускних зварних з'єднань апаратами КП 016, КП 06 або подібних у вуглекислому газі та його сумішах на постійному струмі зворотної полярності у всіх просторових положеннях.

Технічна характеристика КП 016

1	Номінальна напруга мережі трифазного змінного струму, В	380
2	Частота змінного струму, Гц	50
3	Номінальний зварювальний струм при ПВ 60 % та циклу зварювання 5 хв, А	400
4	Рід струму	постійний
5	Границі регулювання струму зварювання, А	60...400
6	Діаметр електродного дроту, мм	1,2...2,0
7	Швидкість подавання електродного дроту, м/год	100...960
8	Регулювання швидкості подавання електродного дроту	плавна
9	Маса електродного дроту у касеті, кг, не більше	12
10	Витрати захисного газу, л/хв	8...20
11	Габаритні розміри механізму подачі, мм	
	довжина	370
	ширина	275
	висота	151
12	Маса механізму подачі, кг	12
13	Загальна маса комплекту поставки з джерелом живлення, кг, не більше	330

Апарат виготовляється для сумісної роботи з джерелом живлення – випрямлячем КИГ-401 або КИУ-501.

Апарат складається з механізму подачі електродного дроту, джерела живлення, пальника, зварювальних кабелів, рукава зварювального тракту, газового редуктора з витратоміром та підігрівачем газу.

Будова та принцип дії апарату

Механізм подачі призначений для подавання порошкового електродного дроту та захисного газу через пальник у зону зварювання.

Механізм подачі складається із наступних вузлів:

1. Циліндричний редуктор в алюмінієвому корпусі, який приводиться у рух електродвигуном постійного струму Д-90, з напругою живлення 27 В та потужністю 130 Вт.

2. Механізм подачі, що складається з чотирироликового механізму з зубчастим зачепленням, який забезпечує подавання порошкового електродного дроту без деформації у пальник. Комплект містить притискні подавальні ролики з гладкою поверхнею та насічкою. Варіант установки вибирається споживачем.

3. Відсікач газу, що призначений для подавання захисного газу в зону зварювання. Із подаванням напруги на котушку, рухоме осердя, що являється одночасно і клапаном, втягується та відкривається отвір для проходження газу. Із відключенням живлення пружина повертає клапан у початкове положення.

4. Касета є місткістю для електродного дроту.

5. Пристрій для гальмування попереджає розкручування дроту на касеті.

6. Корпус призначений для розміщення в ньому всіх названих вище вузлів.

7. Підігрівач газу нагріває газ та не дає замерзнути редуктору.

8. Випрямляч призначений для живлення дуги зварювальним струмом.

9. Пальник призначений для підведення у зону зварювання захисного газу, зварювального струму та електродного дроту.

10. Редуктор УЗО призначений для зменшення тиску газу, що виходить з балона, та регулювання його витрати.

Будова та принцип дії електричної частини апарату

1. Електрична частина апарату забезпечує:

- вибір одного з двох імовірних режимів зварювання за допомогою тумблера на механізмі подачі з робочого місця;

- керування початком та закінченням зварювання за допомогою пускової кнопки на пальнику;
- плавне регулювання швидкості подачі електродного дроту (струму зварювання) за допомогою реостата на подавальному пристрої;
- плавне регулювання напруги зварювання за допомогою реостата на механізмі подачі;
- регульоване у часі подавання захисного газу в зону зварювання перед початком та після закінчення зварювання;
- запускання зварювального випрямляча перед початком зварювання та затримки його відключення після закінчення зварювання (для оплавлення вильоту електродного дроту під час гальмування його подачі);
- перевірку напруги холостого ходу джерела живлення за допомогою тумблера на блоці керування;
- перевірку подавання захисного газу за допомогою тумблера.

Електрична схема апарата складається із наступних функціональних вузлів:

- вузол задавання напруги зварювання, побудований на транзисторах VT1 та VT2;
- вузол керування швидкістю подачі електродного дроту, побудований на транзисторах VT6, VT5 з конденсатором C4 (формував пилоподібної напруги), на транзисторах VT3-VT4 (порогів ключ);
- вузол керування пуском-зупинкою привода, що побудований на транзисторах VT8-VT9;
- таймер з ключем, що виконаний на мікросхемі D1 та транзисторі VD10 (керування відсіканням газу);
- таймер з ключем, що виконаний на тиристорі VD5 (якірний ланцюг двигуна М);
- вузол керування вмикання-вимикання джерела живлення, що побудований на транзисторі VT11 сумісно з реле KV1;

- вузол механізму подачі, що складається з двигуна М, відсікача газу Y1, потенціометрів R47, R48, R49 та R50, перемикача режимів SA2, кнопки пуску S1, що знаходиться на пальнику;

- сигналу завдання напруги зварювання для КИУ-501, який виконано на резисторі R8 та залежить від напруги на базі транзистора VT2, яка формується подільником R48-R11 (або R50-R11). Таким чином резистори R48 (або R50) є задатчиками напруги зварювання. Налаштування діапазону забезпечується за допомогою резистора R10 (шліць якого виведено на лицьову панель блоку керування). Стан ключа VT8-VT9 (закрито-відкрито) дорівнює потенціалу точки N16. Ключ зачинено, реле KV1 вимкнене, транзистор VT11 зачинено. Отже, вимкнено пускове реле джерела живлення та напруга зварювання відсутня. Із вмиканням контакту S1 потенціал точки N26 через подільник R46-R47 зміщується до мінусу, завдяки чому відкривається ключ VT8-VT9 та починає працювати реле KV1;

- перемикання контакту KV1 в ланцюгах транзистора VT11 призводить до вмикання цього ключа та початку роботи пускового реле у схемі джерела живлення;

- перемикання контакту KV1 на резисторі R28 через транзисторний ключ VT7 забезпечує подачу захисного газу, за допомогою спрацьовування клапана Y1;

- з перемиканням контакту KV1 на резистор R35 починається заряд конденсатора C7 (затримка часу на пуск подавання дроту). Після перевертання виходу мікросхеми D1 із «одиниці» на «нуль» відкривається транзисторний ключ VT10, спрацьовує реле KV2, відбудеться пуск приводу подачі електродного дроту;

- отримує живлення вузол керування швидкістю подавання електродного дроту (VT6-VT5);

- оскільки потенціал бази транзистора VT6 зафіксований VT10, то емітерний повторювач на резисторах R24-R25-R47

буде підтримувати приблизно такий самий потенціал. Таким чином, струм емітера (а в остаточному рахунку – струм через резистор R23) буде залежати від потенціометра швидкості R47;

- транзистор V15 сумісно із резистором R22 є емітерним повторювачем напруги від R23 (за мінусом перепаду $U_{6-е} = 0,4$ В) та послідовно – джерелом живлення зарядного струму для конденсатора C4 залежно від струму на VT6 (у т. ч. від положення потенціометра швидкості подавання дроту). Таким чином, час зарядження конденсатора C4 та, у кінцевому рахунку, фаза вимикання порогового ключа VT3-VT4 залежать від потенціометра швидкості R47 (R49);

- мінімальне значення швидкості подавання пристроєм електродного дроту відповідає максимальному значенню величини опору потенціометра R47 (або R49) та налаштовується за допомогою резистора R23;

- максимальне значення швидкості пристрою відповідає мініимальному значенню величини опору потенціометра R47 (або R49) = 0 та налаштовується за допомогою резистора R25;

- зворотний зв'язок пристрою (тобто – жорсткість) забезпечується подаванням протилежного сигналу на ЕРС двигуна, на резистори R19 через діод VD7;

- робота пристрою подавання продовжується поки зачинений контакт кнопки S1 (утримується реле KV1). Із відпусканням кнопки потенціал точки N26 повертається до потенціалу точки N16, зачиняється ключ VT8, VT9, але відключення зварювального джерела живлення та газового клапану відбувається не одразу (слід за KV1);

- після відключення KV1 конденсатор C7 розряджається через діод VD18 та резистори R36-R37, після чого вихід мікросхеми D1 перемикається в «одиницю» та зачинений ключ VT7 відпустить реле KV2, струм через котушку Y1 зменшиться нижче рівня утримання, що заблокує подачу захисного газу;

- конденсатор С9 розряджається через резистори R44-R45 та утримує деякий час відкритим ключ VT11, що залишає увімкненим пускове реле джерела живлення;
- вибір одного з двох режимів зварювання забезпечується за допомогою тумблера SA2, що знаходиться на пристрою подачі електродного дроту. Внаслідок працює пара потенціометрів R47, R48, або R49, R50;
- із затримкою часу, що необхідна для захисту зварювальної ванни, вимикається відсікач та подавання захисного газу зупиняється. Схема повертається у початкове положення. За допомогою перемикача SB2 здійснюється налагоджувальне переміщення електродного дроту «вперед» та перевірка подавання газу.

3. Підготовка апарата до роботи

1. Перед запуском нового апарата, або після тривалого зберігання та розконсервації, необхідно:
 - очистити апарат від пилу, в разі необхідності підфарбувати місця, що зазнали пошкоджень.
2. Перевірити попереднім вмиканням відповідність напруги апарата напрузі мережі живлення.
3. Виконати зовнішні з'єднання апарата, підключення його до мережі живлення відповідно до схеми електричних з'єднань (рис. 1).

Як зворотний провід, що єднає виріб із джерелом живлення зварювальним струмом, можливе застосування сталевий чи мідної шини будь-якого профілю достатнього перерізу.

4. Під'єднати джерело зварювального струму до мережі відповідно до інструкції з його експлуатації.
5. Перевірити наявність мастила у редукторі механізму подачі, якщо необхідно, доповнити мастило.
6. Наповнити касету електродним дротом.
7. Відтиснувши притискні ролики, вручну проштовхнути електродний дріт через ролики механізму подачі до виходу

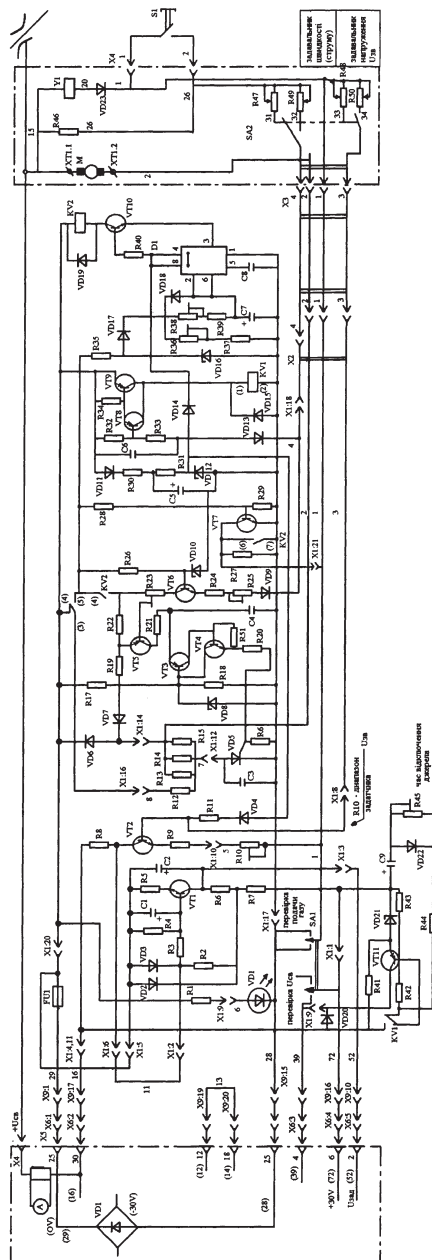


Рис. 1. Електрична схема апарата КР016

його у приймальну частину пальника. Після цього притиснути притискні ролики притискувачами, що вмикаються перемикачем подавання електродного дроту SB2 на передній панелі апарата. Після цього заправити порошковий дріт у тримач. Для полегшення проходження дроту через мундштук пальника рекомендується вивернути контактний наконечник.

8. Контактний наконечник повинен відповідати діаметру електродного дроту.

9. Виконати налаштування необхідної швидкості подачі електродного дроту за допомогою резистора R10.

10. Під'єднати до балона з вуглекислим газом редуктор з підігрівачем та витратоміром газу. Вихідний ніпель редуктора, за допомогою рукава, з'єднати з вхідним штуцером відсікача газу. Натиснути кнопку продування газу SB2, що знаходиться на передній панелі апарата, і переконатися, що газ поступає через сопло пальника. Встановити потрібну витрату газу.

11. Зачистити перед початком роботи поверхні, що зварюються, від мастил та іржі.

12. Режими зварювання встановити залежно від діаметра зварювального дроту, товщини металу, що зварюється, та просторового положення зварювання. Орієнтовні режими надано в табл. 1.

Таблиця 1 – Режими зварювання

Діаметр зварювального дроту, мм	Полярність струму зварювання	Сила струму зварювання, А	Напруга дуги, В	Витрата газу, л/хв	Швидкість подавання електродного дроту, м/год
0,8	Зворотна	50...110	16...19	8...20	120...400
1,0	Зворотна	80...160	17...22	8...20	150...500
1,2	Зворотна	120...300	19...28	8...20	150...650
1,4	Зворотна	150...300	20...28	8...20	150...720

13. Починаючи зварювання після тривалих перерв у роботі, необхідно забезпечити подавання газу шляхом вмикання перемикача SB2.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Зварювальний випрямляч КИУ-501 (або КИГ-401).
2. Напівавтомат КП016.
3. Пост для механізованого зварювання (рис. 6 роботи 2).
4. Дріт порошковий ОК Tubrod 15.14 (або Weld 71T-1), вуглекислота.
5. Лінійка, секундомір, штангенциркуль, планки з низьковуглецевої сталі, універсальний шаблон зварювальника УШС-3 (або УШС-4).
6. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

1. При ознайомленні з устаткуванням зварювальної ділянки виконати наступні задачі:

- Вивчити конструкцію апарата («Опис та інструкція з обслуговування апарата КП016» або ін.).
- Вивчити принципову та монтажну електричну схему апарата.
- Вивчити конструкцію та будову зварювального пальника.
- Вивчити пристрій газового устаткування (регулятора тиску та витрати газу, підігрівача, осушувача, ротаметра).
- Змонтувати устаткування зварювального поста (апарат, пальник, газове устаткування, балон з вуглекислотою).
- Виконати зварювання стикового з'єднання на режимах, що задані викладачем. Отримані дані занести у табл. 1.

2. Визначити питому витрату електроенергії за формулою:

$$A = (I_{\text{зв}} \times U_{\text{д}} / k_{\text{д}} \times V_{\text{зв}}) \times 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год/м}, \quad (3.1)$$

де $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт корисної дії джерела живлення ($k = 0,8$).

Таблиця 1 – Параметри механізованого зварювання та час наплавлення

№ з/п	Режим зварювання				Виліт електрода, мм	Час наплавлення, С	Довжина шва, мм	Ширина шва, мм	Висота шва, мм	Погонна енергія, Qп, кДж/мм
	$I_{зв},$ А	$U_{д},$ В	Полярність	$V_{зв},$ м/год						

- Виконати індивідуальне завдання: для заданого викладачем виду з'єднання, марки сталі та її товщини обрати та обґрунтувати оптимальний режим зварювання.

- На обраному режимі здійснити зварювання. Заміряти геометричні розміри зварного шва.

3. Виконати розрахунок погонної енергії зварювання на різноманітних режимах за формулою:

$$Q_{п} = k \times I_{зв} \times U_{д} / V_{зв}, \text{ кДж / мм}, \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт корисної дії способу зварювання порошковим дротом у захисних газах ($k = 0,8$).

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення технології зварювання порошковим дротом у CO_2 та його сумішах.

2. Опис, призначення та технічні характеристики апарата (КП016 або подібного). Принципова електрична схема, опис, принцип роботи.

3. Опис пристрою та характеристик газового устаткування робочого поста для зварювання у вуглекислому газі.

4. Схему поста для зварювання у вуглекислому газі.

5. Результати виконання індивідуального завдання.

6. Загальні висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Переваги та недоліки зварювання у CO_2 порошковим дротом.
 - Для яких матеріалів використовується зварювання у CO_2 ?
 - Зварювальні матеріали, що використовуються при зварюванні у CO_2 .
 - Склад газу у реакційній зоні при зварюванні у CO_2 .
 - Реакції окиснення заліза та легуючих елементів при зварюванні у CO_2 .
 - Механізм захисту зварювальної ванни від взаємодії з азотом.
 - Якими параметрами характеризується режим зварювання в CO_2 ?
 - Як впливають параметри режиму зварювання на геометричні розміри зварювальної ванни?
 - Чому процес зварювання у CO_2 порошковим дротом характеризується великою величиною проплавлення?
 - Дотримання яких умов при зварюванні порошковим дротом у CO_2 сприяє зменшенню розбризкування металу?
 - Чим керуються при виборі діаметра зварювального дроту?
 - Як пов'язані між собою зварювальний струм та діаметр дроту?
 - Від чого залежить витрата вуглекислого газу при зварюванні?
 - З чого складається робочий пост для зварювання порошковим дротом?
 - Основні елементи апаратів для зварювання порошковим дротом.
 - Які механізми подачі зварювального дроту застосовуються в апаратах?
 - Робота електричної схеми керування апарата.
 - Основні характеристики пальників для зварювання в захисних газах.
 - Що входить до складу газового устаткування поста для зварювання порошковими дровами?

Робота № 4. Автоматичне зварювання під флюсом

1. Мета роботи

1. Вивчення конструкції та електричної схеми автомата (АДС-1000-4; АДФ-1002 та ін.). Набуття практичних навичок виконання зварних швів автоматичним зварюванням під флюсом.

2. Визначення впливу параметрів режиму зварювання на коефіцієнти розплавлення (α_p), наплавлення (α_n), втрат на чад та розбризкування (Ψ).

3. Визначення витрати електроенергії при зварюванні.

4. Дослідження впливу технологічних параметрів режиму зварювання на геометричні розміри зварного шва та вибір режиму зварювання.

2. Загальні відомості

Зварювання під флюсом – найпоширеніший спосіб автоматичного дугового зварювання електродом, що плавиться.

Застосування автоматичного зварювання під флюсом сприяє скороченню ручного дугового зварювання, поліпшенню якості зварного з'єднання та підвищенню продуктивності праці.

Автоматичне зварювання під флюсом доцільно застосовувати у серійному та масовому виробництвах для виробів зі сталі, алюмінію, титану, міді та їхніх сплавів, при виконанні кільцевих, прямолінійних стикових та кутових швів довжиною від 0,8 м та більше на металі товщиною $3 \div 100$ мм із вільним входом та виходом зварювального апарату для початку та закінчення шва.

Переваги автоматичного зварювання під флюсом:

- висока продуктивність;
- стабільність високої якості та гарного зовнішнього вигляду зварних з'єднань;

- високий рівень локальної механізації зварювального процесу та можливість його комплексної автоматизації;
- зниження питомої витрати електродного металу та електроенергії.

Недоліки автоматичного зварювання під флюсом:

- можливість зварювання тільки у нижньому положенні;
- необхідність більш ретельної (порівняно із ручним дуговим зварюванням) підготовки крайок та більш точного складання деталей під зварювання;
- складність зварювання стикових швів із розробкою крайок без підкладки або попереднього підварювання кореня шва.

Сутність процесу зварювання під флюсом.

Класичний процес дугового зварювання під флюсом полягає у застосуванні суцільного зварювального дроту та гранульованого флюсу, що насилається перед дугою шаром товщиною $30 \div 50$ мм. Автомат для зварювання та схема процесу автоматичного дугового зварювання під флюсом наведені на рис. 1.

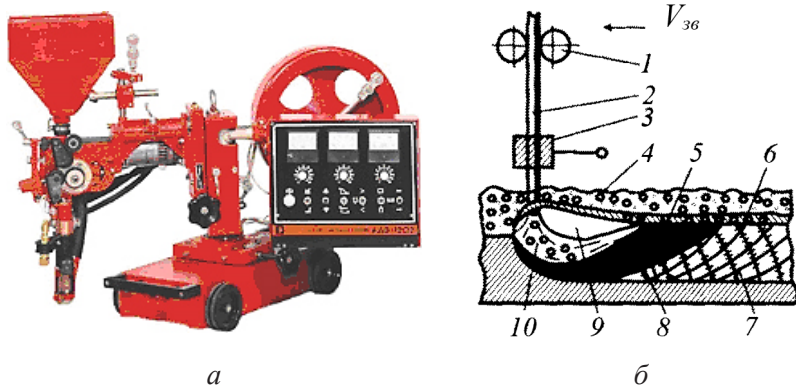


Рис. 1. Зовнішній вигляд автомата АДФ-1202 (а) та схема процесу автоматичного дугового зварювання під флюсом (б)

Збудження та підтримка дугового розряду виконується автоматично зварювальним автоматом, що за допомогою механізму подачі 1 безупинно подає у зону дуги зварювальний дріт 2 у міру його плавлення. Дуга 10 горить між кінцем електрода та виробом. Дуга за довжиною стика переміщується самохідним зварювальним візком (або виріб переміщується щодо нерухомого зварювального автомату).

Під дією тепла, виділюваного зварювальною дугою, плавляться електродний дріт і метал виробу, який зварюється, а також частина флюсу 5, що примикає до дуги. В області горіння дуги утворюється порожнина 9 (газовий міхур), яка обмежується у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу, а у нижній – зварювальною ванною 8. Газовий міхур заповнюється парами металу, флюсу та газами. Тиск газів підтримує шар рідкого флюсу, що утворюється над зварювальною ванною. Дуга трохи відхиляється від вертикального положення у сторону, яка протилежна напрямку зварювання. Під впливом тиску дуги рідкий метал відтісняється також убік, що є протилежним напрямку зварювання. Під електродом утворюється кратер з тонким шаром розплавленого металу. Основна маса розплавленого металу займає простір від кратера до поверхні шва у хвостовій ділянці зварювальної ванни. Розплавлений флюс, який має щільність значно меншу, ніж щільність основного металу, спливає на поверхню зварювальної ванни та захищає її рідким шаром. При переміщенні дуги за напрямком зварювання відбувається послідовне затвердіння металевої та шлакової ванни з утворенням зварного шва 7, який покритий твердою шлаковою кіркою 6.

Зварювання під флюсом можна здійснювати змінним та постійним струмом, одною дугою, двома дугами, розщепленим електродом і трифазною дугою.

Розплавлений флюс (шлак), що покриває металеву ванну при зварюванні, виконує наступні функції:

- захищає рідкий метал зварювальної ванни від безпосереднього контакту з повітрям;

- розкиснює, легує та рафінує метал шва;
- змінює тепловий режим зварювання та зменшує швидкість охолодження металу;
- забезпечує стійке горіння дуги;
- поліпшує умови формування шва.

Гарний контакт шлаку та металу, наявність ізолюваного від зовнішнього середовища простору забезпечують сприятливі умови для захисту, металургійної та теплової обробки зварювальної ванни і тим самим сприяють одержанню швів з високими механічними властивостями.

За способом виготовлення флюси поділяють на: *плавлені*, які одержують сплавленням вхідних компонентів у електричних або полум'яних печах, з наступною грануляцією, що відбувається виливанням розплаву у воду, або *керамічні*, які одержують шляхом грануляції замісу з тонко подрібнених компонентів, які поєднані між собою рідким склом. На відміну від плавлених, у керамічні флюси можуть додаватися металеві порошки-розкиснювачі та легуючі компоненти. Це пов'язано з тим, що у процесі виготовлення керамічні флюси не нагріваються до високих температур.

Найбільше поширення у виробництві одержали плавлені флюси, що представляють собою сплав оксидів та солей металів.

За хімічним складом флюси поділяють на три групи: оксидні, сольові та солеоксидні.

Оксидні флюси містять в основному оксиди кремнію та мангану. Для додання флюсові необхідних властивостей у нього вводять також інші компоненти, наприклад плавіковий шпат, який знижує температуру плавлення та в'язкість шлаку, а також оксиди магнію, кальцію, алюмінію, які при зварюванні практично не реагують з металом. Їх переважно використовують для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей.

Найбільш розповсюджений флюс цього типу – АН-348А містить, % мас.: $41 \div 44 \text{ SiO}_2$; $34 \div 38 \text{ MnO}$; до $6,5 \text{ CaO}$; до 7 MgO ; до $4,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$; $4 \div 6 \text{ CaF}_2$.

Основу *солеоксидних* флюсів складають оксиди металів і фториди. Оксиди кремнію та мангану додають іноді у незначній кількості. Такі флюси переважно використовують для зварювання та наплавлення високолегованих сталей. Наприклад, флюс АН-30 має наступний склад, % мас.: 3SO_2 ; до $0,5 \text{ MnO}$; $41,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$; 18 CaO ; $14,5 \text{ MgO}$; 21 CaF_2 ; до 1 FeO .

Флюси *солевой* групи утримують фтористі та хлористі солі металів, а також інші безкисневі хімічні сполуки. Їх застосовують при зварюванні хімічно активних металів. Наприклад, флюс АН-А1 для зварювання алюмінію та його сплавів складається з $50\% \text{ KCl}$; $20\% \text{ NaCl}$; $30\% \text{ Na}_3\text{AlF}_6$.

Параметри режиму зварювання та їх вплив на геометричні розміри шва

Основні параметри режиму автоматичного зварювання під флюсом – зварювальний струм, рід та полярність струму, діаметр електродного дроту, напруга дуги, швидкість зварювання. Вплив струму, напруги дуги та швидкості зварювання на форму та розміри шва показано на рис. 2.

Зі збільшенням зварювального струму глибина провару збільшується, ширина шва майже не змінюється.

З підвищенням напруги ширина шва збільшується, а глибина провару зменшується. Трохи зменшується висота шва. При тій самій напрузі ширина шва при зварюванні на постійному струмі (особливо зворотної полярності) значно більша, ніж ширина шва при зварюванні на змінному струмі.

Зі збільшенням швидкості (до $40 \div 50 \text{ м/год}$) спочатку глибина провару збільшується, а потім зменшується. При цьому ширина шва зменшується постійно. При швидкості більше $70 \div 80 \text{ м/год}$ основний метал не встигає прогріватися, що може спровокувати утворення підрізів на обох сторонах шва.

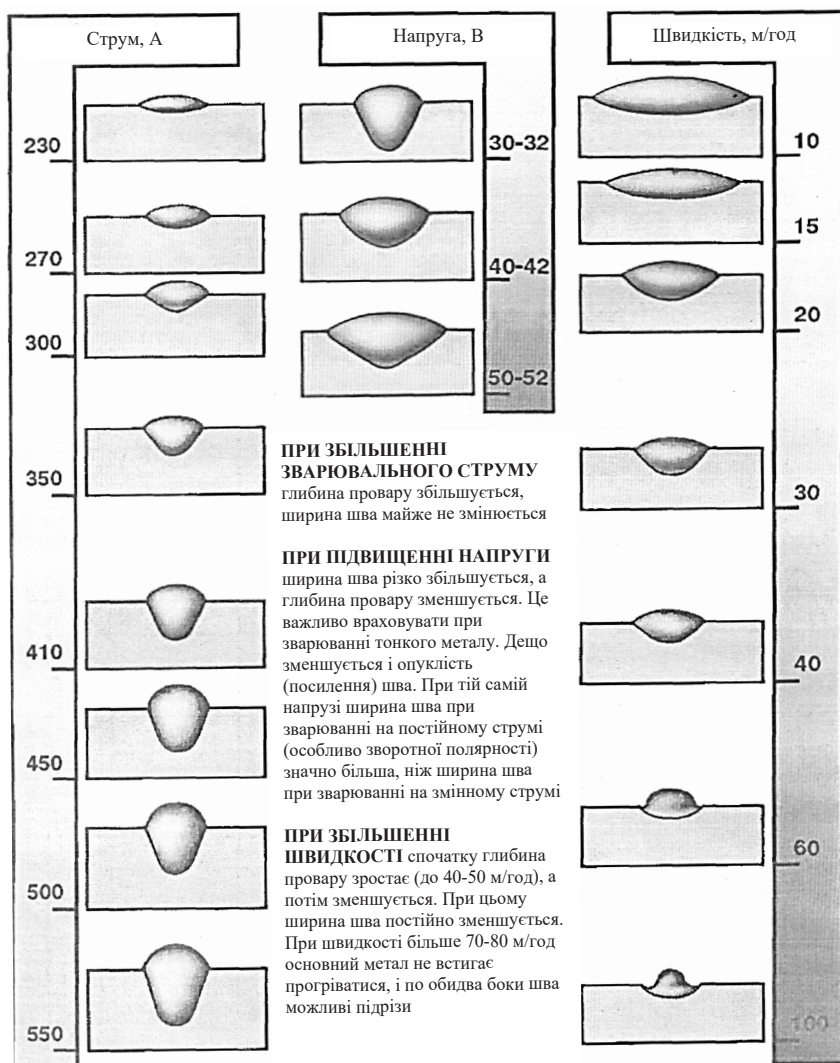


Рис. 2. Вплив струму, напруги та швидкості зварювання на форму та розміри зварного шва

Збільшення зварювального струму є найбільш ефективним засобом підвищення продуктивності процесу зварювання.

Струм є тим основним параметром режиму зварювання, зміною якого регулюють на практиці глибину провару основного металу.

Гарний захист розплавленого металу від повітря та можливість підведення струму до електрода на близькій відстані від його торця (~ 70 мм) надає можливість підвищити щільність струму до $200 \div 250$ А/мм², без перегріву та окиснення електродного дроту (при РДЗ покритим електродом щільність струму не перевищує 15 А/мм²). При цьому площа зварювальної ванни може досягати $10 \div 20$ см², у той час як при РДЗ вона складає $1 \div 2$ см².

При автоматичному зварюванні під флюсом з постійною швидкістю подачі електродного дроту часто замість струму оперують поняттям швидкості подачі електродного дроту, що прирівнюється у цих умовах до силу струму. Чим вище швидкість подачі, тим більше сила струму, яка врівноважує швидкість розплавлення дроту в зоні дуги.

Автомати, які розраховані на використання електродного дроту діаметром $3 \div 6$ мм на струмах $400 \div 1200$ А, можуть мати механізм, що забезпечує подачу дроту зі швидкістю $0,5 \div 3,0$ м/хв. Автомати, які розраховані для роботи з дротами діаметром $1,6 \div 2,5$ мм на струмах $200 \div 600$ А, можуть мати механізм, що забезпечує подачу електродного дроту зі швидкістю $3 \div 12$ м/хв.

Зміна швидкості зварювання в межах $6 \div 60$ м/год та напруги дуги у припустимих межах якісного формування шва неістотно впливають на швидкість плавлення електродного дроту.

Рід і полярність струму також позначаються на формі та розмірах шва. При зварюванні на постійному струмі зворотної полярності глибина провару приблизно на 40 % більша, ніж при зварюванні на прямій полярності. При зварюванні на змінному

струмі глибина провару на $15 \div 20$ % менша, ніж при зварюванні на постійному струмі зворотної полярності. Це пов'язано з різною кількістю тепла, яка виділяється на аноді та катоді.

Рід та полярність струму помітно впливають на швидкість плавлення електродного дроту. При зварюванні на однакових струмах швидкість плавлення на зворотній полярності нижча на $20 \div 30$ %, порівняно із прямою полярністю.

У цьому зв'язку, при зварюванні на постійному струмі стикових з'єднань без скосу крайок та кутових з'єднань з малим катетом варто застосовувати струм зворотної полярності. При роботах, які пов'язані з необхідністю наплавлення великої кількості металу, доцільно використовувати струм прямої полярності. Для зварювання на струмах $>300 \div 400$ А варто застосовувати змінний струм. Вартість зварювальних трансформаторів значно нижча вартості перетворювачів та випрямлячів.

При зварюванні на постійному струмі потрібна більш низька напруга при зворотній полярності, ніж при прямій. Необхідність більш низької напруги при зворотній полярності постійного струму пояснюється меншою рухливістю дуги.

Діаметр (переріз) електродного дроту суттєво впливає на розмір та форму зварного шва. Зменшення діаметру дроту при однаковому струмі приводить до зменшення рухливості стовпа дуги і, як наслідок, до збільшення глибини провару та зменшенню ширини шва. Особливо вплив діаметру електродного дроту на глибину провару позначається при зварюванні на невеликих струмах.

Таким чином, задана глибина провару може бути досягнута при меншому струмі за рахунок зменшення діаметру електрода. Однак використання цього явища не завжди доцільне, оскільки застосування електрода малого діаметра призводить до погіршення якості формування шва внаслідок зменшення ширини провару та утруднення точного проходження електрода по стику через його малу жорсткість.

Електродний дріт малого діаметра при зварюванні на струмах підвищеної щільності варто застосовувати для одержання вузького шва з глибоким проплавленням, а електроди великого діаметра при зварюванні на струмах низької щільності – для одержання широкого шва з невеликим проплавленням основного металу (наприклад, наплавочні роботи).

Для забезпечення правильного формування шва, зі зменшенням діаметра електродного дроту та збільшенням щільності струму необхідно підвищувати напругу дуги.

Параметри режиму автоматичного зварювання під флюсом можуть бути обрані або за літературними (довідковими) даними, або розраховані аналітично.

*Розрахунок режимів автоматичного зварювання
під флюсом низьковуглецевих сталей*

На практиці доводиться розраховувати режими автоматичного зварювання по геометрії шва, який позначений на кресленні тієї або іншої конструкції. Прокат товщиною $2 \div 20$ мм може бути зварений у стик двостороннім швом без обробки крайок (тип шва 2.5.1 за ДСТУ EN ISO 9692-1).

Розрахунковим методом визначимо $I_{зв}$, U_d , $V_{зв}$, $V_{пд}$, $d_{ел}$. Для розрахунку визначимо глибину провару з лицьової сторони шва:

$$H = 0,5S + \Delta H, \quad (4.1)$$

де S – товщина металу, мм;

ΔH – величина перекриття першого шва другим,
 $\Delta H = 1 \div 3$ мм.

Обираємо силу зварювального струму, яка забезпечує задану глибину проплавлення:

$$I_{зв} = \frac{H_1}{K_h} \cdot 100, \quad (4.2)$$

де H_1 – необхідна глибина провару, мм;

K_h – коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від умов проведення зварювання.

Для зварювання на постійному струмі зворотної полярності, з використанням флюсу ОСЦ 45 та діаметра електрода $d_e = 4$ мм, $K_h = 1,15$.

Обираємо діаметр електродного дроту:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \text{ мм}, \quad (4.3)$$

де j – припустима щільність струму ($j = 35 \div 60$ А/мм²).

Для прийнятого діаметра електрода та сили зварювального струму визначають оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} I_{зв} \pm 1, \text{ В}, \quad (4.4)$$

При виборі швидкості зварювання можна скористатися формулою:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{св}}, \text{ м / год}, \quad (4.5)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від діаметра електрода,
 $A = (16 \div 20) \cdot 103$ А·м/год.

Швидкість подачі дроту визначимо за формулою:

$$V_{пд} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{св}}{3600 \cdot \pi d^2 \rho}, \text{ м / год}, \quad (4.6)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення металу;
 ρ – щільність наплавленого металу;

$$\alpha_p = 7 + 0,04 \frac{I_{зв}}{d_e}, \text{ г / А} \times \text{ год}. \quad (4.7)$$

3. Автомати для дугового зварювання під флюсом

При дуговому зварюванні під флюсом для збудження дуги, подачі електродного дроту, підтримки заданого режиму зварювання, а також припинення процесу застосовують пристрій, що називається *зварювальною головкою*. Якщо зварювальна головка переміщується вручну – процес зварювання називається *механізованим*, якщо ж зварювальна головка обладнана приводом переміщення, то процес зварювання називається *автоматичним*.

При автоматичному зварюванні зварювальна головка може переміщатися безпосередньо по виробу (автомати тракторного типу); по спеціальних напрямних, що розташовані над виробом (начіпні самохідні зварювальні автомати); може бути нерухомо закріплена на консолі над виробом, що рухається (стаціонарні зварювальні автомати).

Усі три типи автоматів мають касету з електродним дротом, бункер для флюсу, пульт керування з електровимірювальною апаратурою.

Зварювальний автомат у комплекті з джерелом живлення та допоміжним устаткуванням називається *зварювальною установкою*. Промисловість випускає два основних типи зварювальних головок: з автоматичним регулюванням швидкості подачі електродного дроту залежно від напруги дуги та з постійною швидкістю подачі електродного дроту.

При сталому режимі зварювання швидкість подачі електродного дроту дорівнює швидкості його плавлення. У зварювальних головках з автоматично регульованою швидкістю подачі електродного дроту залежно від напруги дуги, при порушенні нормального горіння дуги змінюється довжина дугового проміжку, що призводить до зміни напруги дуги. Зміна напруги впливає на електродвигун постійного струму, який відповідає за швидкість подачі електродного дроту, що викликає таку зміну швидкості подачі, яка відновлює початкову напругу дуги, тобто задана напруга дуги підтримується постійною.

У зварювальних головках з постійною швидкістю подачі електродного дроту, що не залежить від напруги дуги, у випадку зміни довжини дугового проміжку відновлення режиму відбувається через зміну швидкості плавлення електродного дроту внаслідок саморегулювання дуги.

У зварювальних головках з постійною швидкістю подачі дроту часто застосовують електродвигуни змінного струму. В цьому випадку здійснюється ступінчасте регулювання швидкості подачі електродного дроту. Необхідна швидкість встановлюється попередньо перед зварюванням підбором змінних зубчастих коліс (або роликів). Така схема проста та надійна. Однак неможливість регулювання швидкості під час зварювання є недоліком застосування електродвигунів змінного струму.

У зварювальних головках, коли необхідне часте та плавне налаштування режиму зварювання, застосовуються електродвигуни постійного струму. Для розширення меж регулювання швидкості подачі дроту іноді додатково встановлюють змінні зубчасті колеса, що забезпечує плавно-ступінчасте регулювання. Автомати з плавним регулюванням швидкості подачі електродного дроту мають великі технологічні можливості.

Зварювання поділяють на *одно-, дво- та багатодугове*.

Промисловість використовує одно-, дво- та багатоелектродні автомати. Ці автомати обладнують відповідною кількістю барабанів для електродного дроту.

Прикладом устаткування для дводугового зварювання є самохідний автомат А-1412. Цей автомат призначений для дводугового зварювання під флюсом та комплектується двома трансформаторами типу ТДФЖ. Візок автомата з маршовою швидкістю переміщується від асинхронного електродвигуна; з робочою швидкістю – від електродвигуна постійного струму. Робоча швидкість візка регулюється через зміну частоти обертання електродвигуна у десятикратному діапазоні за

допомогою тиристорного регулятора. Для регулювання положення мундштуків залежно від необхідного вильоту електродів служить механізм підйому, що включає редуктор та електродвигун.

Одноелектродні автомати тракторного типу АДФ-1202, АДС-1000-4, АДФ-1002 та ін., є базовим обладнанням, яке широко використовується у промисловості.

Зварювальний автомат АДС-1000-4

Автомат призначений для дугового зварювання під флюсом на змінному та постійному струмі 400 ÷ 1200 А електродним дротом діаметром 2 ÷ 5 мм стикових з'єднань з обробкою та без обробки крайок, а також кутових з'єднань з поворотом та без повороту виробів «у човник», які розташовані на горизонтальній та похилій до 15° відносно обрію поверхнях.

У комплект автомата АДС-1000-4 входять зварювальний трактор і зварювальний трансформатор типу ТДФ-1001УЗ або випрямляч типу ВДУ-1201, у якому передбачена ніша для установки блоку керування з елементами електричної схеми. Автомат має плавне регулювання швидкості подачі дроту та швидкості зварювання, має два двигуни та відноситься до автоматів з регульованою швидкістю подачі електродного дроту (залежно від зміни U_d).

Зварювальний трактор (рис. 3) складається зі зварювальної головки з механізмом подачі електродного дроту 2 та бункером для флюсу 3, а також із самохідного візка 1, барабана для електродного дроту, пульта керування 5.

Візок може переміщатися безпосередньо по виробу або рейковому шляху. Шарнірне кріплення головки з бункером на коромислі 6 забезпечує можливість зварювання похилим електродом. Коромисло 6 має можливість повертатися у хомуті та прикріплюється до вертикальної стійки 7, що разом із коромислом може повертатися навколо вертикальної осі на 180°.

Фіксування головки у потрібному положенні виконується рукоятками 8–10. При переключуванні трактора вручну привід візка відключається за допомогою муфти рукояткою 11. Рух візка забезпечує електродвигун постійного струму 12, який передає обертання на вісь ведучої пари коліс через редуктор, що забезпечує швидкість зварювання у діапазоні $12 \div 120$ м/год. Подача дроту здійснюється електродвигуном постійного струму 13 з регульованою частотою обертання, що через редуктор приводить в обертання ведучий ролик. Струмopідвід складається з рухомої та нерухомої колодок. Рухома колодка притискає електродний дріт за допомогою пружин, сила натягу яких регулюється гвинтами 14.

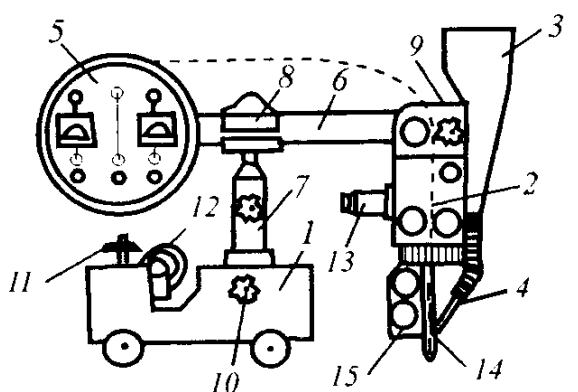


Рис. 3. Зварювальний трактор АДС–1000-4

На пульті керування змонтовано електровимірювальні прилади, кнопки керування автоматом та потенціометри регулювання напруги дуги, швидкості зварювання та подачі електродного дроту.

Принципова електрична схема автомата побудована на принципі автоматичного регулювання напруги дуги (рис. 4).

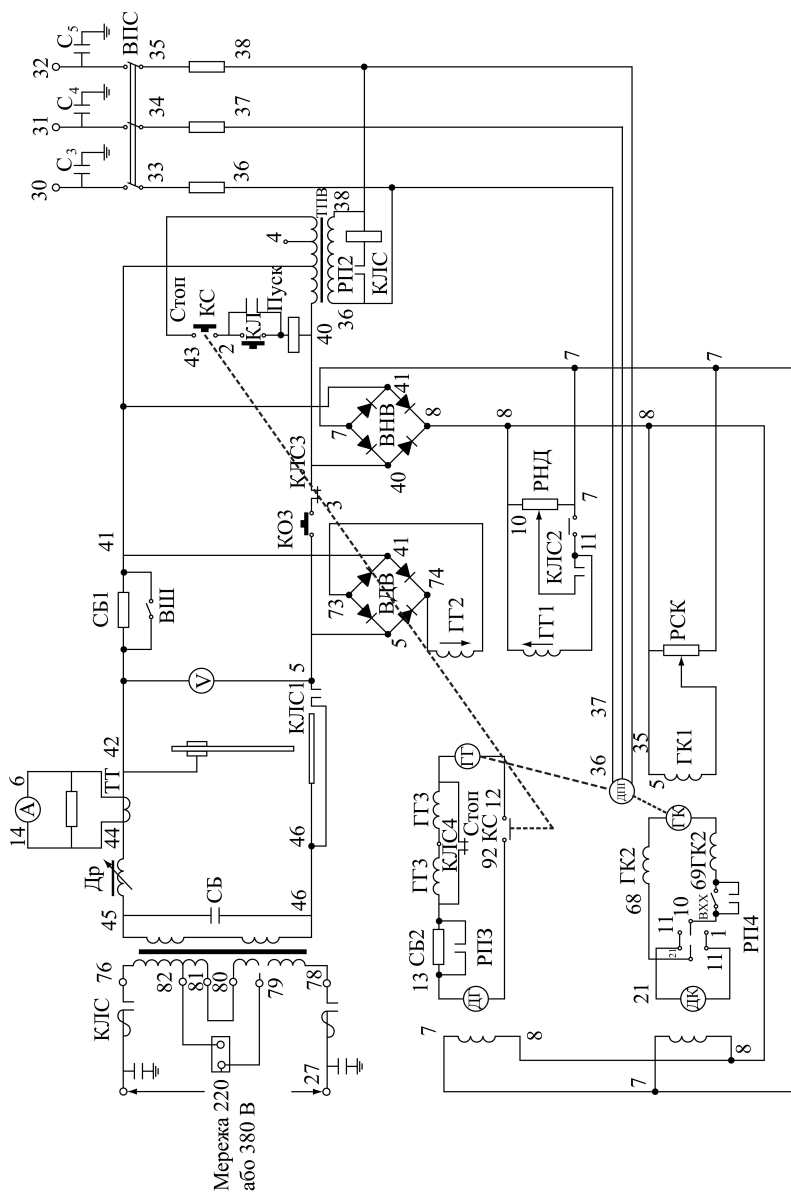


Рис. 4. Принципова електрична схема автомата АДС-1000-4

Зварювальний автомат АДФ-1002

Автомат тракторного типу АДФ-1002 призначений для зварювання під флюсом змінним та постійним струмом стикових з'єднань з обробкою та без обробки крайок, а також кутових і таврових з'єднань. Це переносний універсальний автомат для зварювання у нижньому положенні.

Автомат розроблено за схемою з постійною швидкістю подачі електродного дроту, що не залежить від напруги дуги. Налагоджування його на задану швидкість подачі дроту виконується змінними зубчастими шестернями механізму подачі.

Автомат складається зі зварювального трактора та джерела живлення типу ТДФ-1001 або ВДУ-1001. Характерною рисою трактора є наявність тільки одного загального електродвигуна, що надає рух механізму подачі електродного дроту та механізму переміщення трактора (рис. 5).

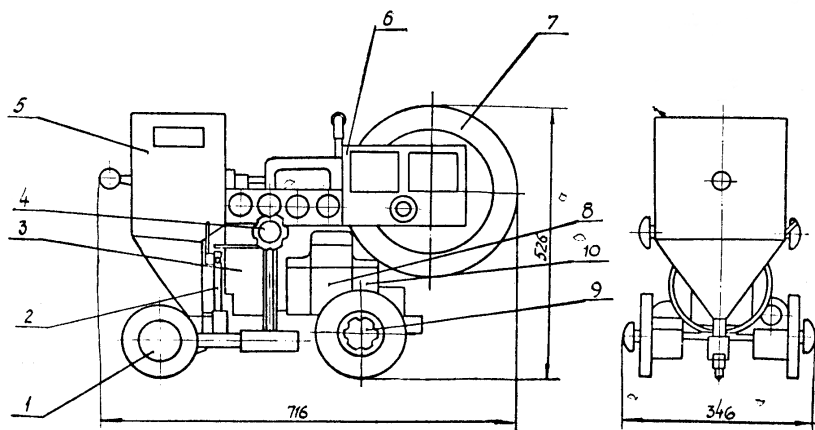


Рис. 5. Зварювальний трактор АДФ-1002:

1 – бігунок; 2 – мундштук; 3 – зварювальна головка; 4 – коректувальний механізм; 5 – бункер для флюсу; 6 – кронштейн; 7 – касета; 8 – двигун; 9 – маховичок; 10 – ходовий механізм

Зварювальний трактор складається з наступних основних вузлів: електродвигуна (8); механізму подачі електродного дроту (3); ходового механізму (10); мундштука для підведення зварювального струму до електродного дроту (2); пульта керування (6); касети з електродним дротом (7); бункера для флюсу (5); коректора (4) та бігунків (1).

Схема керування автомата забезпечує: підйом та опускання електродного дроту, пересування трактора при відключеному зварювальному ланцюзі; дистанційне включення зварювального струму та збудження дуги на початку процесу зварювання, заварку кратера та відключення зварювального струму наприкінці зварювання.

Керування роботою схеми автомата виконується за допомогою пульта керування.

Стійкість процесу зварювання забезпечується зміною швидкості плавлення дроту залежно від зміни струму дуги (саморегулювання) при випадкових коливаннях її довжини.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Джерела живлення типу ТДФ-1001 або ВДУ-1001.
2. Автомати АДС-1000-4 та АДФ-1002.
3. Дріт зварювальний Св-08А (або ОК Autrod 12.20), флюс АН-348А (або ОК Flux 10.71), планки з низьковуглецевої сталі.
4. Лабораторні ваги, лінійка, секундомір, штангенциркуль, універсальний шаблон зварювальника УШС-3 (або УШС-4).
5. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

1. При ознайомленні з призначенням та технічними характеристиками устаткування для автоматичного зварювання під флюсом виконати наступні задачі:

- Вивчити конструкцію автомата («Опис та інструкція з обслуговування самохідного зварювального автомата АДС-1000-4» або ін.).

- Вивчити принципову та монтажну електричну схему автомата.

- Виконати зварювання стикового з'єднання на режимах, які задані викладачем.

2. Визначити коефіцієнти розплавлення, наплавлення, втрат на чад та розбризкування. Для цього необхідно провести наступні операції:

- Зібрати схему автоматичної установки для зварювання на постійному струмі прямої полярності.

- Визначити масу 1 м електродного дроту (зважити на лабораторних вагах).

- Визначити масу однієї зі сталевих пластин.

- Виліт електрода встановити 35 мм. Електродний дріт марки Св-08А діаметром 3 мм.

- Встановити заданий режим зварювання $I_{зв}$, U_d , $V_{зв}$, $V_{пл}$ (перевіряється наплавленням контрольного валика).

- Зробити наплавлення експериментального валика. Перед початком наплавлення за допомогою металевої лінійки розмітити довжину електродного дроту. У процесі наплавлення зафіксувати значення $I_{зв}$, U_d та час горіння дуги t .

- Після наплавлення зачистити валик від шлакової кірки та бризок до металевого блиску і визначити зважуванням масу наплавленого металу $G_{ел}$ та масу частини електродного дроту, що розплавилася.

- Отримані дані занести у табл. 1, 2 та 3.

3. Обчислити коефіцієнти розплавлення, наплавлення та втрат на чад і розбризкування, користуючись формулами:

$$\alpha_p = \frac{G_{ел} \cdot 3600}{I_{зв} \cdot t}, \text{Г(А} \cdot \text{год)}; \quad (4.8)$$

$$\alpha_n = \frac{G_n \cdot 3600}{I_{зв} \cdot t}, \text{Г(А} \cdot \text{год)}; \quad (4.9)$$

$$\psi = \frac{G_{ел} - G_n}{G_{ел}} \cdot 100\%. \quad (4.10)$$

4. Побудувати графік зміни α_p , α_n та Ψ залежно від сили зварювального струму $I_{зв}$ (у межах $200 \div 500$ А), напруги дуги U_d (у межах $24 \div 46$ В) та швидкості зварювання $V_{зв}$ (у межах $18 \div 36$ м/год).

Таблиця 1 – Режими та час наплавлення

№ з/п	Режим наплавлення			Виліт електрода, мм	Час наплавлення, т, с	Марка електродного дроту	Діаметр дроту, мм
	$V_{зв}$, м/год	$I_{зв}$, А	U_d , В				

Таблиця 2 – Параметри зварювання та маса наплавленого металу

Довжина розплавленого електродного дроту, мм	Маса електродного дроту, $G_{еп}$, г	Матеріал пластини	Маса пластини, г		Маса наплавленого електродного металу, г
			до зварювання	після зварювання	

Таблиця 3 – Коефіцієнти продуктивності зварювання

Коефіцієнт розплавлення, α_p , г/А·год	Коефіцієнт наплавлення, α_n , г/А·год	Коефіцієнт втрат на чад та бризки, Ψ , %	Марка флюсу	Маса розплавленого флюсу, кг	Довжина шва, м	Питома витрата флюсу, кг/м

3. Визначити витрати електроенергії при автоматичному зварюванні під флюсом на режимі $I_{зв} = 250$ А, $U_d = 28$ В, $V_{зв} = 30$ м/год. Питома витрата електроенергії (тобто на 1 м шва) визначається за формулою:

$$A = (I_d \times U_d / k \div V_{зв}) \times 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год/м}, \quad (4.11)$$

де k – коефіцієнт корисної дії джерела живлення (прийняти $k = 0,8$).

4. Аналіз впливу технологічних параметрів режиму зварювання на геометричні розміри шва виконувати у такій послідовності:

- користуючись методикою розрахунку режимів автоматичного зварювання під флюсом, яка наведена у розділі 3, вирішити наступні задачі:

- розрахувати режим двостороннього автоматичного зварювання під флюсом стикового з'єднання, якщо товщина листа $S = 16$ мм;

- для заданої марки сталі, типу зварного з'єднання та товщини деталей, що зварюються, виконати індивідуальне завдання:

- вибрати зварювальні матеріали (флюс і дріт);
- вибрати варіант підготовки крайок, форми зварного шва, способу зварювання під флюсом;
- вибрати параметри режиму зварювання;
- виконати контрольне зварювання автоматом АДФ-1002 (або іншим) на обраних режимах;
- порівняти форму та розміри зварного шва із розрахунковими.

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення теорії та технології зварювання під флюсом.

2. Опис, призначення та технічні характеристики автомата; принципову електричну схему автомата та опис її роботи.

3. Методики проведення досліджень по визначенню витрати електроенергії, коефіцієнтів розплавлення, наплавлення, втрат на чад та розбризкування. Результати досліджень у вигляді таблиць та графіків.

4. Результати виконання індивідуального завдання.
5. Загальні висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Область застосування автоматичного зварювання під флюсом.
 - Переваги та недоліки автоматичного зварювання під флюсом.
 - Класифікація флюсів за хімічним складом.
 - Будова плавлених та керамічних флюсів.
 - Переваги та недоліки плавлених та керамічних флюсів.
 - Сутність способу зварювання під флюсом.
 - Які функції виконує флюс при зварюванні?
 - Як впливає зварювальний струм, напруга дуги та швидкість зварювання на форму шва?
 - Дріт яких діаметрів застосовують при зварюванні під флюсом?
 - Який рід струму застосовують при зварюванні під флюсом?
 - Як рід струму впливає на якість та будову зварного шва?
 - Які види зварних з'єднань та швів виконують при зварюванні під флюсом?
 - Якої товщини метал зварюють у стик за один прохід без обробки крайок автоматичним зварюванням під флюсом?
 - Як вибрати режими зварювання?
 - Методика розрахунку режимів автоматичного зварювання.
 - Принцип автоматичного регулювання дуги.
 - Принцип саморегулювання дуги.
 - Основні типи автоматів для зварювання під флюсом.
 - Двохелектродні автомати для зварювання під флюсом.
 - Конструкція та технологічні можливості автомата АДС-1000-4.

- Конструкція зварювального трактора АДФ-1002.
- Принцип регулювання параметрів процесу зварювання в автоматі АДФ-1002.
- Як розрахувати коефіцієнти розплавлення, наплавлення та втрат на чад і розбризкування?
- Як розрахувати питому витрату електроенергії при зварюванні?
- Що таке питома витрата флюсу при зварюванні?

Робота № 5. Ручне дугове зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться, в інертних газах

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з:
 - конструкціями зварювальних пальників;
 - призначенням, будовою та технічними даними газового устаткування робочого поста для зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертних газів;
 - будовою та технічними даними устаткування для ручного зварювання вольфрамовим електродом Marc-500 hf та УДГУ-501 (або інших, наявних у лабораторії), а також придбання практичних навичок виконання зварних швів.
2. Визначення максимально припустимого зварювального струму прямої та зворотної полярності залежно від діаметра електрода.
3. Вивчити умови якісного захисту шва залежно від діаметра сопла пальника, відстані від сопла до виробу та витрати аргону.
4. Принцип оцінки якості аргону при використанні проби із титану.
5. Розробка технології зварювання вузла, який задається викладачем.

2. Загальні відомості

У 40-х – на початку 50-х років минулого сторіччя звернули увагу на зварювання у захисних газах, у зв'язку з тим, що багато практичних задач не можна було вирішити за допомогою ручного дугового зварювання покритими електродами та зварюванням під шаром флюсу.

У нашій країні приділялася велика увага розробці процесу з використанням активного захисного газу – CO_2 , а також інертними газами: аргонем та гелієм. Аргон, і особливо гелій, значно дорожче вуглекислого газу, але вони є інертними до

металів, що зварюються, і практично не вступають у взаємодію з ними та легуючими елементами, які входять до їх складу.

У даний час зварювання у середовищі інертних газів неплавким вольфрамовим електродом широко застосовується практично у всіх галузях промисловості, у тому числі суднобудуванні, для одержання високоякісних нероз'ємних з'єднань з високолегованих нержавіючих, дуплексних та інших сталей, сплавів на основі алюмінію, титану, нікелю, міді та ін.

Зварювання у інертних газах неплавким електродом здійснюється ручним, механізованим та автоматичним способом, з присадком, що плавиться, який є близьким за хімічним складом до металу, що зварюється.

Цей вид зварювання є зручним для виконання зварних з'єднань у будь-якому просторовому положенні, легко піддається механізації, дозволяє спостерігати за зварювальною ванною у процесі роботи, має досить високу продуктивність, що досягає при ручному зварюванні до $40 \div 50$ м/год, а автоматичному – 200 м/год.

При ручному дуговому зварюванні у середовищі інертного газу (рис. 1) краї деталі, що зварюється, та присадний метал розплавляються дугою, яка горить між електродом, що не плавиться, та деталлю. Дуга, зварювальна ванна, край присадного дроту та шов, що кристалізується, захищені від повітря інертним газом, який подають у зону зварювання пальником.

До основних технологічних параметрів процесу відносяться: рід, полярність і величина зварювального струму; довжина дуги; розмір та форма торця вольфрамового електрода; вид захисного газу та спосіб захисту зварювальної ванни.

Найбільш широко у зварювальному виробництві використовують струминний захист, при якому інертні гази подають у зону зварювання для відтискання повітря від розплавленого металу та прилеглої зони. Із сопла пальника витікає струмінь захисного газу симетрично осі електрода.

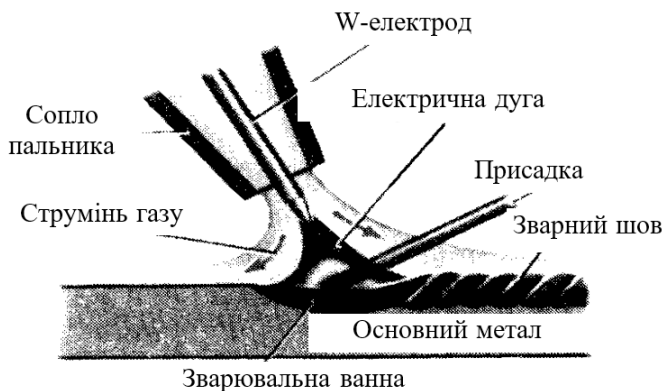


Рис. 1. Ручне дугове зварювання електродом, що не плавиться

Виходячи із сопла пальника, струмінь захисного газу поступово зміщується з навколишнім повітрям, у результаті чого зона чистого захисного газу вихідного складу (ядро) представляє собою конус, до якого примикає периферійна зона з проміжним складом суміші газу аргон-повітря (рис. 2).

Захист надійний тільки у межах ядра потоку. Відстань між торцем сопла пальника та деталлю, що зварюється, не повинна перевищувати 15 мм.

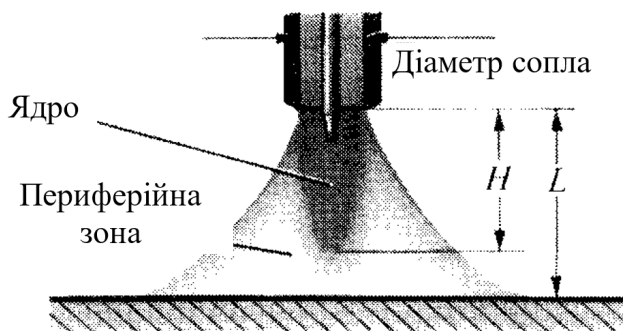


Рис. 2. Витікання захисного газу із сопла пальника:
 H – довжина ядра потоку; L – відстань від сопла

Нахил пальника кутом уперед поліпшує захист зварювання, але на великих кутах нахилу пальника та підвищених швидкостях витікання захисного газу виникає підсмоктування повітря у зону зварювання.

Витікання газу за перерізом сопла повинно бути рівномірним. Для цього всередині пальника встановлюють лінзи, які підтримують ламінарний потік.

На вітру або протягах ефективність захисту визначається жорсткістю струменя газу та його розміром. Жорсткість струменя залежить від фізичних властивостей газу та росте зі збільшенням швидкості його витікання. У цьому зв'язку, при збільшенні діаметра сопла потрібно одночасно підвищувати витрату газу. Для захисту від вітру зону зварювання огорожують малогабаритними екранами або переносними критами.

Електроди, що не плавляться, служать тільки для підтримки горіння дуги. Вони є джерелом заряджених частинок – електронів у дуговому проміжку. Щільність струму термоелектронної емісії з катода різко зростає зі збільшенням його температури (закон Річардсона-Дешмана). Наявність високих температур на катоді можна допустити лише у випадку виготовлення його з тугоплавкого матеріалу з високою температурою кипіння.

Таким матеріалом є вольфрам, його температура плавлення 3422 °С, а температура кипіння 5555 °С. Нагрітий вольфрам енергійно взаємодіє з киснем та при окисненні перетворюється на порошок білого кольору. У цьому зв'язку електроди із вольфраму не можна застосовувати для зварювання на повітрі або в іншому окисному середовищі (наприклад, у вуглекислому газі). Вольфрамові електроди застосовують тільки для зварювання в інертних газах.

Істотний недолік електродів з технічно чистого вольфраму – невисока термічна стійкість при зварюванні. Підвищення стійкості електрода проти оплавлення, зменшення

вольфрамових включень у шві, стабілізація дугового розряду досягається добавкою в електрод перед пресуванням, наприклад, $1,5 \div 2$ % оксидів лантану (La_2O_3) або ітрію (Y_2O_3). Електроди, які виготовлені за такою технологією, називають *лантанованими* або *ітрірованими* відповідно.

Найкращими зварювальними характеристиками володіють вітчизняні ітріровані електроди ЭВІ-3, вони дають можливість працювати на відносно великій щільності струму (до 50 А/мм^2) при незначній витраті електрода.

За зовнішньою поверхнею вольфрамового електрода після зварювання можна опосередковано оцінювати режими зварювання. Так, бічна поверхня та кінець електрода, при правильному виборі параметрів режиму зварювання і розмірів електрода, повинні зберігати вихідний блискучий колір. Матова поверхня означає, що теплове навантаження на електрод перевищує рекомендоване, або якість захисного газу не є задовільною.

Якщо поверхня електрода після зварювання має синій, чорний колір або зелений наліт, це означає, що витрата аргону недостатня або час продувки аргону після відключення малий.

Форма заточування вольфрамового електрода (рис. 3) впливає на технологічні властивості дуги. При зменшенні діаметра притуплення підвищується концентрація теплового потоку, росте тиск дуги та щільність струму. При зварюванні електродом, який має якісне притуплення, ймовірність утворення непроварів, які є результатом неспівпадіння осі електрода та лінії стику, значно зменшується.

Зміна кута заточення призводить до зміни форми та розмірів стовпа дуги. На практиці використовують електроди з заточенням під кутом $45 \div 60^\circ$. При менших кутах знижується ресурс роботи електрода, а при кутах більше 90° можливо нестійке горіння дуги через блукання катодної плями на торцевій поверхні. Оптимальну геометрію робочого кінця електрода визначають дослідним шляхом.

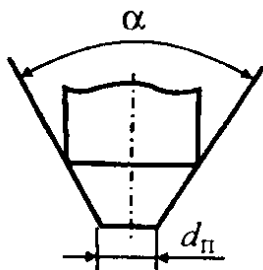


Рис. 3. Схема заточення електрода:
 $d_{\text{п}}$ – діаметр притуплення; α – кут заточення

Зварювальний струм обирають з урахуванням досвіду роботи, що полягає у наступному. Зварювання постійним струмом прямої полярності характеризується максимальним проплавленням. У діапазоні струмів до 600 А частка теплової потужності, що вводиться у деталь, складає $60 \div 80 \%$; втрати на нагрівання електрода – близько 5 %, а променеві втрати від стовпа дуги – $5 \div 35 \%$.

При зварюванні постійним струмом зворотної полярності втрати на нагрівання електрода, що не плавиться – анода – складають близько 50 % загальної потужності дуги. У цьому зв'язку, з енергетичної точки зору зварювання постійним струмом зворотної полярності є невигідним. Концентрація нагрівання у цьому випадку нижче, шви мають меншу глибину та велику ширину проплавлення, ніж при зварюванні на прямій полярності або змінним струмом. Перевагою зварювання дугою зворотної полярності є ефективне руйнування оксидних плівок із забезпеченням високої чистоти поверхні зварювальної ванни через розвиток катодного розпилення. Процес характеризується гарним сплавленням основного та присадного металів, навіть при неякісній підготовці поверхні деталей під зварювання. Недоліком зворотної полярності є висока вірогідність оплавлення торця електрода у процесі зварювання, що значно впливає на технологічність процесу.

Зварювання змінним струмом – найбільш розповсюджений процес при виготовленні конструкцій із алюмінієвих та магнієвих сплавів. Поверхня, у цьому випадку, очищається від оксидів у напівперіоди зворотної полярності. Коли катодна пляма знаходиться на поверхні зварювальної ванни (зворотна полярність), стрімко падає температура активної плями у зв'язку з відводом теплоти у масу основного металу, активність термоелектронної емісії спадає. У цьому випадку для збудження дуги потрібно більш висока напруга та дуга буде горіти при більшому значенні напруги, ніж у попередньому періоді. При зварюванні на малих струмах у напівперіоди зворотної полярності збудження дуги може не відбутися і дуга стане «випрямним вентилем». Це різко погіршує стабільність її горіння. Тому установки для зварювання на змінному струмі вольфрамовим електродом повинні мати: стабілізатори, імпульсні збудники, батареї конденсаторів та ін. При зварюванні на великих струмах (понад 300 А) допускається незбалансований зварювальний струм.

Зварювальний струм і швидкість зварювання визначають вихідну кількість енергії та обираються залежно від складу та товщини металу, що зварюється. Формування та розміри шва при зварюванні електродом, що не плавиться, залежать від термічного та механічного впливу дуги на зварювальну ванну. При зварюванні на струмах до 150 А проплавлення досягається в основному в результаті теплопередачі від дуги та конвекції металу, що плавиться. Вплив тиску дуги незначний. Однакове проплавлення можна одержати при зміні зварювального струму та швидкості зварювання у широких межах. При збільшенні зварювального струму швидкість зварювання лінійно росте. Максимально можлива швидкість зварювання обмежена появою підрізів. Невідповідність між зварювальним струмом та швидкістю зварювання викликає надмірне проплавлення або несплавлення.

У діапазоні зварювальних струмів $250 \div 600$ А істотну роль у проплавленні основного металу відіграє механічний вплив дуги. Збільшення зварювального струму від 300 до 600 А при зварюванні, наприклад, сталі Х18Н9Т товщиною 16 мм призводить до лінійного зростання тиску дуги з $6 \cdot 10^{-2}$ до $15 \cdot 10^{-2}$ Н. У зв'язку з цим стовп дуги поглиблюється у розплавлений метал та зменшує прошарок рідкого металу під дугою, що покращує умови теплопередачі в основний метал. Глибина проплавлення збільшується ~ на 50 % (від 6 до 9 мм), ширина зростає ~ на 70 % (від 10 до 18 мм). Більш повільне збільшення глибини проплавлення пояснюється тим, що зі збільшенням зварювального струму одночасно росте діаметр дуги та розширюється пляма нагрівання. Щільність теплового потоку змінюється незначно.

Область якісного формування швів обмежена кривою максимально припустимої швидкості зварювання, знижується від ~35 до 18 м/год, при збільшенні струму від 250 до 500 А. При великих швидкостях зварювання спостерігається утворення газових порожнин у швах.

Збільшення глибини проплавлення за рахунок підвищення зварювального струму при аргонодуговому зварюванні сталей пов'язане з обмеженням припустимої швидкості зварювання. У цьому зв'язку стикові з'єднання товщиною понад 4 мм виконують з обробленням крайок.

Довжина дуги є одним із основних параметрів, які впливають на формування шва та проплавляючу здатність дуги. Вона обирається залежно від типу з'єднання, марки та товщини металу. Для зварювання без присадного дроту довжина дуги встановлюється від 0,5 до 2 мм, при використанні присадки збільшується до $3 \div 4$ мм. З подовженням дуги лінійно росте напруга дуги, збільшується її діаметр та пляма нагрівання; глибина проплавлення трохи зменшується, а ширина шва інтенсивно зростає. Оптимальна довжина дуги складає $1,5 \div 3$ мм, що відповідає напрузі на дузі $11 \div 14$ В.

Техніка зварювання. При ручному зварюванні у стик металу невеликої товщини (до ~ 4 мм) застосовують лівий спосіб (кутом уперед). Кут між пальником та деталлю зменшують до 60° при зменшенні товщини матеріалу, що зварюється. При зварюванні товстого металу застосовують правий спосіб, а кут між пальником та деталлю, так само як і при зварюванні кутових з'єднань, дорівнює $\sim 90^\circ$.

Присадний дріт подається після утворення зварювальної ванни. Для рівномірного розплавлення присадний дріт потрібно тримати під кутом $10 \div 15^\circ$ до виробу, що зварюється, та не в стовпі дуги, а трохи збоку – щоб розплавлений метал не потрапив на кінець вольфрамового електрода.

При зварюванні тонколистового матеріалу присадний пруток варто тримати нерухомо, направляючи його вздовж стику, що зварюється, або подавати у зону зварювання зворотно-поступальними рухами; при зварюванні товстого металу з обробленням крайок – з поступальними-поперековими рухами. При зварюванні великої товщини рекомендується багатопрохідний спосіб з виконанням вузьких валиків без значних поперекових коливань. Виліт кінця електрода із сопла не повинен перевищувати $3 \div 5$ мм та може трохи збільшуватись при зварюванні кутових і стикових швів великої товщини. Довжина дуги повинна підтримуватись у межах $1,5 \div 2,5$ мм. Для забезпечення провару на початку та кінці шва рекомендується застосовувати вивідні планки. Обрив дуги варто робити з поступовим її подовженням.

Робочий пост для зварювання

До складу устаткування для ручного зварювання вольфрамовим електродом входять: джерело живлення зварювального струму, зварювальний пальник, пристрій для збудження зварювальної дуги, апаратура керування зварювальним циклом та газовим захистом. Загальний вигляд і схеми зварювального поста наведено на рис. 4.

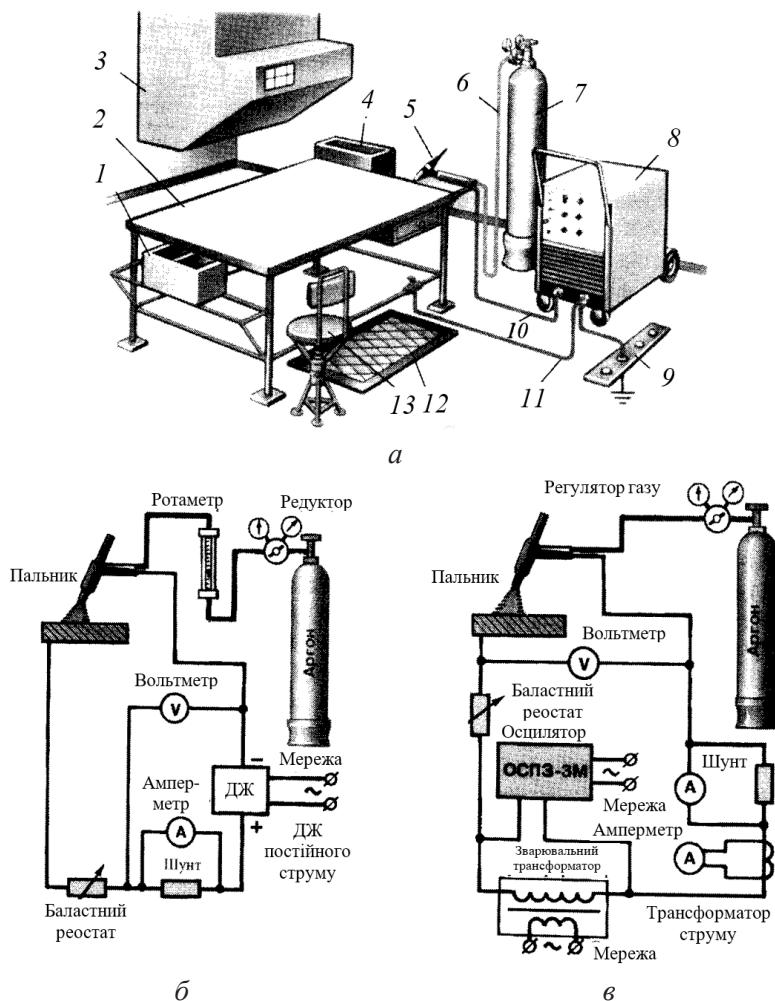


Рис. 4. Загальний вигляд (а) та схеми зварювального поста на постійному (б) та змінному струмі (в):

1 – шухляда для електродів; 2 – робочий стіл; 3 – вентиляція;
4 – шухляда для деталей; 5 – пальник; 6 – газовий шланг; 7 – газовий балон; 8 – ДЖ; 9 – заземлення; 10 – прямий провід; 11 – зворотний провід; 12 – діелектричний килимок; 13 – стілець

Основною вимогою до джерел живлення для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом є наявність крутоспадної зовнішньої статичної вольтамперної характеристики. Вона забезпечує стабільність зварювального струму при коливаннях довжини дуги і, як наслідок цього, стійкість процесу зварювання.

При зварюванні на змінному струмі застосовують зварювальні трансформатори; бажано, щоб вони мали високу напругу холостого ходу ($70 \div 80$ В). При високій напрузі дуги, наприклад, при зварюванні у гелії, або при малих струмах, напруга холостого ходу може сягати 120 В. У цьому випадку для більшої безпеки застосовують обмежники напруги холостого ходу.

При зварюванні на постійному струмі використовують будь-яке джерело постійного струму: зварювальний перетворювач, випрямлячі, зварювальний агрегат, інверторне джерело або спеціальні джерела та установки типу Marc-500hf, УДГУ-501, які забезпечують зварювання усіх видів металу на постійному та змінному струмі. Найпростішим регулятором зварювального струму є баластовий реостат. Баластовий реостат у зварювальному ланцюзі забезпечує формування крутоспадної характеристики.

Устаткування для ручного зварювання змінним струмом, крім основних вузлів, що входять до складу устаткування постійного струму, включає: пристрій для стабілізації горіння дуги (стабілізатор), пристрій для компенсації та регулювання постійної складового зварювального струму. Звичайно, основні вузли, крім пальника, конструктивно об'єднані. Такий пристрій, що оснащений пальником (або комплектом пальників на різні струми), називається *установкою*.

Зварювальні пальники за способом охолодження поділяються на *пальники з природним та водяним охолодженням*. Загальний вигляд зварювального пальника для ручного зварювання наведено на рис. 5.

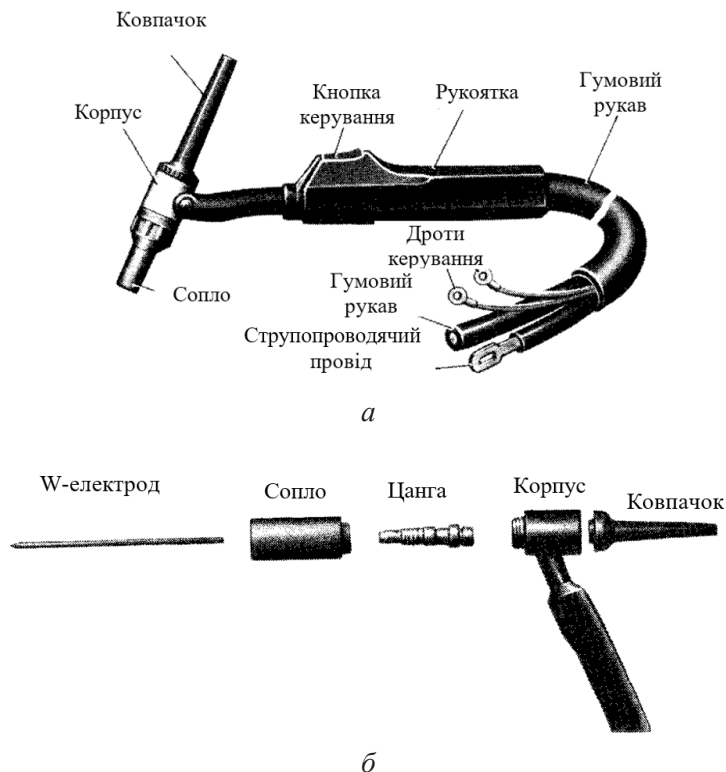


Рис. 5. Пальник для ручного зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться:
а – рукав у зборі; б – пальник

Пальники для ручного зварювання повинні бути легкими та зручними. Вони мають різні конструкції відповідно до їх призначення. Пальники для ручного зварювання випускаються на струми до 500 А. При значеннях зварювального струму понад 150 А та для зварювання протяжних швів потрібно застосовувати пальники з водяним охолодженням.

Пристрої для первинного збудження дуги поділяються на два класи: пристрої збудження дуги від короткого замикання торканням та пристрої збудження дуги через зазор.

Пристрої для збудження дуги торканням повинні забезпечувати малий струм короткого замикання, підтримку струму на цьому рівні до моменту утворення дуги, лише потім його плавне наростання до робочого. Такий пристрій є невід'ємною частиною джерела зварювального струму. Головна перевага збудження дуги торканням – відсутність високовольтних пристроїв та пробойів дугового проміжку, які вони викликають. Такою системою збудження дуги укомплектовано установки УДГ-201, автомати АДГ-201 та АДГ-301.

Завдяки широкому застосуванню тиристорних і транзисторних джерел живлення збудження дуги торканням вважається достатньо перспективним. Однак, враховуючи небезпеку утворення вольфрамових включень та більш складну конструкцію зварювального пальника, поки більш широке поширення для ручного та автоматичного зварювання одержав спосіб збудження дуги шляхом пробойу проміжку високовольтними імпульсами за допомогою осциляторів.

Осцилятори застосовуються для полегшення запалювання зварювальної дуги та підвищення її стійкості при переході струму через нуль. Осцилятор підключається паралельно або послідовно зварювальній дузі. За допомогою осцилятора утворюється струм високої напруги та підвищеної частоти. Підвищення напруги викликає збільшення зварювального струму, а підвищення частоти струму зменшує період часу, протягом якого напруга та струм мають мінімальні значення.

Апаратура для використання захисних газів включає балони, регулятори (редуктори), витратоміри газу, змішувачі захисних газів, газові клапани-економізатори.

Особливості зварювання сталей

При зварюванні сталей у інертних газах шов являє собою переплав основного та електродного металів (при високій чистоті інертного газу).

При зварюванні низьковуглецевих, низьколегованих сталей забезпечується найбільш повне засвоєння зварювальною ванною легуючих елементів. Однак при зварюванні сталей цього класу (особливо нерозкиснених) спостерігається сильна пористість. Зі збільшенням вмісту вуглецю у сталі пористість зростає.

Пористість може бути обумовлена наявністю в аргоні домішок азоту та водню, а також недостатньо ефективним захистом при зварюванні.

Введення у зварювальну ванну розкиснювачів (Si, Mn, Al, Ti) активізує процес зв'язування значної частини кисню, обмежує окиснення вуглецю і, таким чином, сприяє зниженню пористості шва.

Для запобігання пір необхідно виключити можливість попадання у зварювальну ванну азоту, водню та пари води, за рахунок ретельного очищення крайок деталей, що зварюються, та зварювальних матеріалів від іржі, вологи та органічних забруднень.

При зварюванні середньолегованих високоміцних сталей з високою швидкістю охолодження виникає можливість утворення холодних тріщин у зоні термічного впливу, за рахунок переохолодження сталі та утворення несприятливих крихких структур.

При зварюванні високолегованих сталей з аустенітною структурою можливе утворення у шві та навколо шовної зони гарячих тріщин, які мають міжкристалічний характер. Щоб уникнути гарячих тріщин у шві варто обирати присадні матеріали, які містять модифікатори, для дезорієнтації та подрібнення грубої первинної структури кристалізації, або використовувати матеріали, що забезпечують одержання аустенітно-феритної структури у шві.

З цією метою через присадний дріт вводять елементи – феритизатори (Si, Cr, Mo, Al та ін.), що забезпечують у зварному шві деяку кількість δ -ферита. Слід зазначити, що якщо

сталь глибоко аустенітна, то кількість феритизаторів, які необхідні для досягнення потрібного ефекту, може бути великою. Для запобігання тріщинам при зварюванні цих сталей потрібно обмежити вміст у них, особливо у зварювальному дроті, шкідливих домішок – сірки та фосфору. Не слід також забувати про коефіцієнт провару, його значення повинно бути достатнім для одержання шва нормальної ширини при наявній глибині провару, щоб уникнути утворення несприятливих умов кристалізації ванни.

Метал шва повинен мати хімічний склад, що є сприятливим до одержання структур, які забезпечують гарну пластичність і не старіють у процесі експлуатації (внаслідок випадання карбідів та інтерметалідів).

Після зварювання сталей аустенітного класу можливий розвиток міжкристалічної корозії у шві та навколо шовної зони у результаті виділення під впливом термічного циклу по границях зерен карбіду хрому. Такий метал втрачає корозійну стійкість, у корозійному середовищі з'являються тріщини. Щоб уникнути тріщин, варто вводити у метал титан або ніобій, які мають більшу спорідненість до вуглецю, ніж хром, або зменшувати час перебування металу в інтервалі температур $550 \div 650^{\circ}\text{C}$, для збільшення швидкості охолодження (тобто використовувати більш «жорсткий» режим зварювання).

Особливості зварювання алюмінію та його сплавів

Алюміній та його сплави порівняно із сталями мають специфічні властивості, що значно ускладнює процес зварювання. До таких властивостей варто віднести наступне: високу спорідненість до кисню та активне утворення оксиду алюмінію (Al_2O_3) у вигляді плівки, що покриває поверхню металу; значне перевищення температури плавлення оксидної плівки (2044°C) над температурою плавлення алюмінію ($\sim 660^{\circ}\text{C}$); здатність алюмінію розчиняти водень; схильність до утворення пор; високий коефіцієнт лінійного розширення; раптовий перехід

із твердого у рідкий стан при нагріванні; схильність багатьох сплавів до утворення гарячих та холодних тріщин.

Наявність оксидної плівки на поверхні алюмінію та його сплавів ускладнює процес зварювання. Володіючи високою температурою плавлення, оксидна плівка не розплавляється у процесі зварювання та покриває метал міцною оболонкою, що перешкоджає утворенню загальної ванни.

Присутність на поверхні електродного дроту оксидної плівки позначається на характері краплинного переносу металу. При зварюванні в окисному середовищі розмір крапель, які генеруються електродом, сягає великих розмірів, що погіршує стабільність горіння дуги. Тому при зварюванні повинно бути прийнято міри для руйнування та видалення оксидної плівки та захисту металу від повторного окиснення.

В умовах аргонодугового зварювання на зворотній полярності можливе видалення оксидної плівки за рахунок катодного розпилення. Катодне розпилення обумовлене бомбардуванням поверхні катода позитивно зарядженими іонами. Завдяки відносно великим розмірам, позитивно заряджені іони при зіткненні віддають свою енергію поверхневим атомам, що створює сприятливі умови для їхнього випаровування. При цьому, у першу чергу випаровуються атоми поверхневих оксидних плівок.

Оскільки у процесі аргонодугового зварювання має місце лише руйнування плівки, а не її видалення, як при зварюванні під флюсом, то виникає необхідність якісної попередньої обробки деталей перед зварюванням для одержання мінімально тонкої та однорідної плівки по всій поверхні крайок деталі, що зварюються. Для попередження окиснення зварювальної ванни та засмічення її оксидами у процесі зварювання необхідне застосування аргону високої чистоти.

Живлення дуги здійснюють від джерела змінного струму, що забезпечує руйнування оксидної плівки. Зварювання виконують на швидкості $8 \div 12$ м/год.

Для забезпечення ефективного газового захисту для кожного режиму зварювання визначають оптимальну витрату газу. Надійність захисту при зварюванні визначається також діаметром сопла пальника, відстанню сопла від поверхні деталі, що зварюється, та іншими технологічними факторами.

Особливості зварювання титану та його сплавів

До основних труднощів, які зустрічаються при зварюванні титану, відносяться велика хімічна активність металу, особливо у розплавленому стані, відносно газів (кисню, азоту та водню). Обов'язковою умовою одержання якісного з'єднання при зварюванні титану плавленням є надійний захист від газів атмосфери не тільки зварювальної ванни, але і ділянок металу, що остигають, шва та прилеглої зони з температурою більше 400 °С. Необхідно також ретельно захищати і зворотну сторону (корінь) шва навіть у тому випадку, якщо шари металу не розплавлялися, а тільки нагрівалися вище цієї температури.

Додаткові труднощі при зварюванні титану створює велика його схильність до росту зерен при нагріванні до високої температури, особливо в області β -фази (вище 882 °С). Низька теплопровідність титану сприяє збільшенню часу перебування шва та прилеглої зони за високих температур, що прискорює процес збільшення розмірів зерна. Для попередження росту зерна зварювання плавленням α та псевдо- α -сплавів виконують на мінімально можливих погонних енергіях.

Порівняно з іншими конструкційними матеріалами титан має максимальну температуру плавлення (1670 °С), що потребує при його зварюванні використання концентрованих джерел нагріву. Оскільки у титану більш низький, ніж у сталі, коефіцієнт теплопровідності, підвищений електроопір та знижена теплоємність, то при зварюванні титану плавленням витрачається менше енергії, ніж при зварюванні вуглецевої сталі.

Титан та його сплави не схильні до утворення кристалізаційних тріщин у металі шва. Це пояснюється сприятливими фізико-механічними властивостями титану та його сплавів: малою величиною ливарної усадки та підвищеною міцністю і пластичністю металу в області високих температур. Для титанових швів характерний вузький інтервал кристалізації. Враховуючи, що пластичність металу у цьому інтервалі висока, зварні шви титанових сплавів мають високу стійкість проти утворення кристалізаційних тріщин.

Найбільш частими дефектами зварних швів є *пори та холодні тріщини*. Основна причина утворення пор у швах – газові домішки (у першу чергу водень), що розчинені в основному та присадному металі, а також адсорбовані на поверхнях крайок та дроту. Значну роль в утворенні пористості у титанових швах відіграють спадкоємні дефекти напівфабрикатів – газові колектори та мікропори, на базі яких при зварюванні зароджуються газові пухирці. Для одержання швів без пор необхідна висока чистота основного металу та зварювальних матеріалів, а також ретельна підготовка крайок. Найбільш радикальним методом попередження пор у швах титану та його сплавів є використання флюсів при зварюванні.

Холодні тріщини у зварному з'єднанні виникають при зниженні пластичності різних його ділянок, а також при підвищеному вмісті у основному металі та шві шкідливих домішок – газів. Тріщини такого типу можуть виникати відразу ж після зварювання, а також після відстоювання зварних виробів (процес уповільненого руйнування). Основною причиною уповільненого руйнування є виділення водню із твердого розчину з утворенням гідридів титану, що пов'язане з окрихчуванням металу у результаті появи локальних внутрішніх напружень. Останні складаються із залишковими напруженнями, що розтягують, а також із напруженнями від зовнішнього навантаження.

Основними чинниками, які визначають якість зварних з'єднань, є надійність захисту зони зварювання та чистота інертного газу.

Найбільш ефективний захист досягається при використанні газових лінз (рис. 6), що представляють собою вкладиш із пористого матеріалу або пакет із сіток з дрібними отворами ($80 \div 250$ отв./см²).

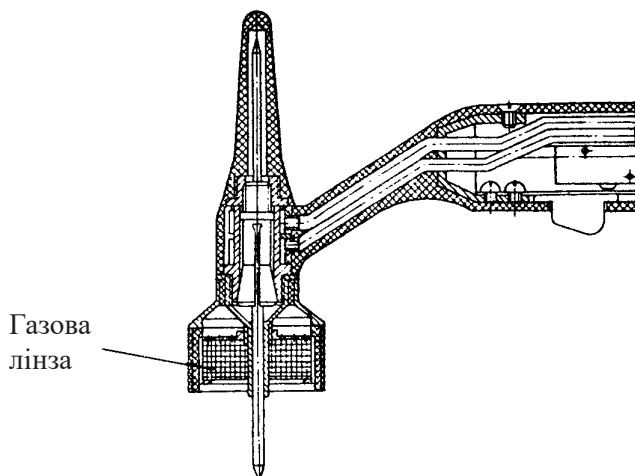


Рис. 6. Пальник для ручного зварювання титану вольфрамовим електродом

Захист кореня шва та прилеглих нагрітих ділянок зварного з'єднання здійснюють щільним підтисканням крайок до мідних або сталевих підкладок з формуючими канавками та системою отворів для подачі інертного газу. При зварюванні судин або трубчастих конструкцій корінь шва захищається продувкою інертного газу усередину виробу.

Опосередковану оцінку ефективності газового захисту у процесі зварювання та при наступному охолодженні зварного з'єднання виконують за його зовнішнім виглядом.

Блискуча сріблиста поверхня шва свідчить про гарний захист та задовільні властивості шва. Жовто-блакитний колір або поява на ньому сірих нальотів свідчить про поганий захист. Така поверхня властива швам, які мають низьку пластичність та в'язкість внаслідок забруднення шкідливими домішками-газами.

Зварювання титану електродом, що не плавиться, здійснюється постійним струмом прямої полярності, тобто електрод є катодом.

Для запобігання зайвого перегріву навколо шовних ділянок, при дуговому зварюванні титану обмежують зварювальний струм.

Особливості зварювання міді та її сплавів

При зварюванні міді необхідно враховувати специфічні властивості цього металу, з яких головними є висока теплопровідність, велика рідкотекучість та значна активність металу при взаємодії з киснем та воднем у розплавленому стані. Внаслідок високої теплопровідності міді (майже у 6 разів більше, ніж у сталі) для зварювання плавленням необхідно застосовувати джерела нагріву з великою тепловою потужністю, а також підвищену, порівняно зі сталлю, погонну енергію. Висока тепло- та температуропровідність призводять також до істотних швидкостей охолодження металу шва та прилеглих зон основного металу та обмежує час перебування зварювальної ванни у рідкому стані. Це викликає труднощі при металургійній обробці ванни та погіршує формування шва. Поліпшення формування шва можна забезпечити за допомогою попереднього підігріву. Попередній та супутній підігрів основного металу поліпшує умови кристалізації металу шва, зменшує внутрішні напруження та усуває схильність металу шва до утворення тріщин. Деталі товщиною більше $10 \div 15$ мм підігрівають газовим полум'ям, розосередженою дугою та іншими

способами до наступної температури: з міді – $250 \div 300^{\circ}\text{C}$, латуні – $300 \div 350^{\circ}\text{C}$, бронзи – $500 \div 600^{\circ}\text{C}$. Перевага надається нагріву у печах.

Через високу теплопровідність міді рівномірне формування швів можна одержати лише при симетричному розташуванні джерела нагрівання відносно до крайок, що зварюються. У цьому зв'язку, зручно зварювати стикові з'єднання або наближенні до них за характером тепловідводу у деталях, що зварюються.

Мідь активно поглинає гази – кисень та водень, які негативно впливають на механічні властивості зварних з'єднань та підвищують їх схильність до утворення пор та кристалізаційних тріщин. У цьому зв'язку, при зварюванні необхідно забезпечувати надійний захист металу шва та попереджати його забруднення шкідливими домішками-газами. Відповідні вимоги висувають до зварювальних матеріалів.

Серйозним викликом, з яким доводиться зіштовхуватися при зварюванні міді, є схильність швів до утворення кристалізаційних тріщин, чому сприяють її специфічні теплофізичні властивості: великі коефіцієнти теплового розширення та теплопровідності, значна усадка при затвердінні та ін. Домішки, що є присутні у міді, такі як кисень, сурма, вісмут, сірка та свинець, утворюють з металом легкоплавкі евтектики, що знижують її міцність. Тому у міді, яка призначена для зварних конструкцій, вміст домішок обмежують (кисню – до 0,03 %; вісмуту – до 0,003 %; сурми – до 0,005 %; свинцю – до 0,03 %).

Щоб уникнути крихкості швів при підвищеній температурі, яка є результатом утворення евтектики $\text{Cu}_2\text{S} + \text{Cu}$, вміст сірки у міді, що зварюється, повинен бути менше 0,1 %. Фосфор у невеликих кількостях (до 0,1 %) сприятливо впливає, тому що є розкиснювачем шва та переводить оксиди у шлак. Розкиснювачами при зварюванні міді можуть бути також кремній та манган, однак вони менш ефективні, ніж фосфор.

При переході від зварювання міді до зварювання сплавів на її основі – латуней та бронз – виникають додаткові труднощі. При зварюванні латуні цинк може випаровуватися (його температура кипіння 907°C , тобто нижче температури плавлення міді), що призводить до утворення пор. Пари цинку, що з'єднуються з киснем, утворюють оксид цинку, який, як і самі пари, отрутний та виділяється у вигляді щільної білої хмари. За рахунок цього, при зварюванні латуні особливі вимоги приділяються до вентиляції робочих місць зварника. Попередній підігрів металу та підвищення швидкості зварювання дозволяють зменшити розтікання рідкої латуні та зменшити випар цинку. У зв'язку з інтенсивним випаром та вигоранням цинку його концентрація у металі шва зменшується. Додаткове додавання у шов кремнію або мангану знижує втрати цинку. Найбільш сприятливо впливає кремній, який утворює на поверхні зварювальної ванни тонку оксидну плівку яка перешкоджає випаровуванню цинку. У цьому відношенні досить ефективна присадка зі сплаву ЛК62-0,5.

Зварювання у середовищі захисних газів міді та її сплавів виконується плавким або неплавким електродом. Вольфрамовим електродом, що не плавиться, виконують зварювання у аргоні (витрата аргону до 10 л/хв) без попереднього підігріву міді товщиною до $4 \div 6$ мм. Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Мідь товщиною до $5 \div 6$ мм можна зварювати без обробки крайок. Для металу великої товщини застосовують V- або X-подібну обробку з кутом розкриття $60 \div 70^{\circ}$.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Устаткування для ручного зварювання вольфрамовим електродом Marc-500hf та УДГУ-501.
2. Пост для зварювання неплавким електродом (рис. 4).
3. Дріт зварювальний Св-08Г2С (або ОК Tigrod 12.64), аргон.

4. Лінійка, секундомір, штангенциркуль, планки з низьковуглецевої сталі, алюмінію, титану, міді.

5. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

3. Порядок проведення роботи

1. Вивчити устаткування для зварювального поста ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом у середовищі аргону.

2. Виконати зварювання стикових з'єднань із заданих матеріалів (сталь, алюміній, титан, мідь) на режимах, що надано викладачем.

3. При визначенні максимально припустимого зварювального струму залежно від діаметра електрода виконати наступні операції:

- закріпити у пальнику вольфрамовий електрод діаметром 1,5 мм (кінець електрода повинен бути заточений під кутом 60°);

- встановити довжину дуги 2 мм, витрату аргону 5 л/хв, зварювальний струм 20 А;

- запалити зварювальну дугу на струмі прямої полярності;

- збільшуючи зварювальний струм та спостерігаючи за дугою через зварювальну маску, зафіксувати момент початку оплавлення кінця вольфрамового електрода, визначити величину зварювального струму та напруги дуги;

- змінити полярність струму на зворотну та повторити дослідження. Аналогічно виконати дослідження для електродів діаметром 2 та 3 мм;

- за результатами досліджень побудувати графік залежності допустимого зварювального струму від діаметра електрода.

4. За плямою нагрівання дослідити вплив діаметра сопла зварювального пальника, на відстані ℓ від сопла до пластини, що зварюється, та витрати аргону Q на якість захисту.

Для цього запалити дугу та тримати у наміченій точці планки доти, поки зварювальна ванна не досягне розміру приблизно діаметру 10 мм при виконанні проби на струмі 150 А та діаметра 20 мм на струмі 200 А та більше. Потім загасити дугу шляхом вимикання зварювального струму та охолонути зварювальну ванну під захистом газу, що витікає із сопла пальника, протягом не менше 15 с. Якщо після охолодження поверхня плями має срібlistий колір, то якість захисту гарна; світло-солом'яний – припустима; синього, сірого – неприпустима. При визначенні впливу діаметру сопла d_c використовувати три типорозміри сопла з діаметрами 10, 16 та 20 мм. Відстань від планки до сопла підтримувати рівною 10 мм. Зварювальний струм 150 А, витрата аргону у пальнику 10 л/хв. При визначенні впливу відстані від сопла до планки змінювати ℓ у межах $5 \div 25$ мм (через кожні 5 мм). При цьому використовувати сопло діаметром 16 мм. При визначенні впливу витрати аргону Q на якість захисту задавати наступні значення Q : 2, 5, 10, 15 та 20 л/хв при $d_c = 16$ мм, $\ell = 10$ мм. Зварювальний струм повинен бути в межах 150 А. Результати досліджень занести в табл. 1.

5. Виконати індивідуальне завдання: для заданої викладачем деталі призначити режими зварювання неплавким електродом.

Таблиця 1. Вплив діаметра сопла та витрати аргону на якість захисту

№ з/п	Параметри режиму					Колір поверхні		Висновок
	$I_{зв}$, А	U_d , В	Q , л/хв	d_c , мм	ℓ , мм	шва	навколо- шовної зони	

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення технології зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів. Особливості зварювання сталі, алюмінію, титану, міді та їх сплавів.
2. Короткий опис устаткування зварювального поста. Схема поста.
3. Методика проведення експериментальних досліджень по визначенню припустимого зварювального струму; вивченню умов якісного захисту шва та представлення результатів у вигляді таблиці та графіків.
4. Результати виконання індивідуального завдання.

6. Контрольні питання

- Сформулюйте сутність процесу зварювання електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів.
- Область застосування, переваги та недоліки зварювання електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів.
- Які інертні гази рекомендуються для дугового зварювання різних металів?
- Як впливають на форму проплавлення аргон та гелій?
- У чому розходження захисних властивостей аргону та гелію і як варто це враховувати при зварюванні?
- Назвіть способи захисту металу газами при зварюванні.
- Що таке ядро струменя захисного газу?
- Які фактори впливають на ефективність струминного захисту при зварюванні?
- Від чого залежить витрата захисного газу при зварюванні та як вона визначається?
- Що таке газові лінзи та для чого вони застосовуються?
- Яким способом підвищують стійкість вольфрамових електродів?

- Особливості зварювання алюмінію та його сплавів.
- Властивості оксидів, що утворюються на поверхні алюмінію, та їхній вплив на зварюваність.
- Які способи руйнування оксидів алюмінію при зварюванні ви знаєте?
- Назвіть та обґрунтуйте основні способи підготовки поверхні алюмінію та його сплавів під зварювання.
- Рід та полярність струму при зварюванні титану у середовищі інертних газів.
- Дефекти зварних швів при зварюванні титану.
- Які властивості міді ускладнюють її зварювання та чому?
- Технологічні особливості та методика вибору режимів зварювання міді та її сплавів у середовищі інертних газів.
- Як впливає полярність при постійному струмі на стійкість вольфрамового електрода?

Робота № 6. Будова та принцип роботи зварювального поста ПРС-3М

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з:
 - конструкцією та принципом роботи зварювального поста ПРС-3М, що використовується для РДЗ неплавким електродом в інертних газах;
 - призначенням, будовою та технічними даними газового устаткування зварювального поста ПРС-3М для зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертних газів.
2. Набуття практичних навичок виконання зварних швів постійним струмом прямої полярності.
3. Розробка технології зварювання деталі, яка надається викладачем, відповідно до технологічних можливостей поста ПРС-3М.

2. Загальні відомості

Зварювання у середовищі інертних газів вольфрамовим електродом, який не плавиться, широко застосовують у багатьох галузях промисловості, для одержання високоякісних нероз'ємних з'єднань з легованих сталей, сплавів на основі алюмінію, титану, міді та інших хімічно активних матеріалів.

З металургійної точки зору можна вважати, що зварювання в інертних газах та їхніх сумішах представляє простий переплавлення основного та електродного металів. Хімічний склад металу шва у цьому випадку може змінюватись тільки завдяки випаровуванню легуючих елементів.

Зварювання, вольфрамовим електродом, що не плавиться, може виконуватись вручну, механізовано або автоматично.

Цей вид зварювання зручний для виконання зварних з'єднань у будь-яких просторових положеннях, легко піддається механізації, дозволяє спостерігати за зварювальною ванною у процесі роботи.

Будова та принцип роботи зварювального поста ПРС-3М

Технічні характеристики

Напруга живлення мережі постійного струму, В	60
Номінальний струм зварювання при ПВ = 60 %, А	450
Межі регулювання зварювального струму, А	20 ÷ 485
Регулювання зварювального струму	дистанційне через 15 А
Діаметр вольфрамового електрода, мм	2 ÷ 5
Витрата захисного газу, л/хв	6 ÷ 20
Витрата води, що охолоджує, л/хв	0,6 ÷ 2,0
Радіус дії пальника відносно апаратного блоку, м	4
Довжина проводів, які єднують апаратний блок з баластним реостатом, м	30
Маса пальника без шлангів, кг	ГСН-1 0,5 ГСН-2 0,8
Маса апаратного блоку, кг	9
Маса баластного реостата, кг	70
Габаритні розміри апаратного блоку, мм	465 × 240 × 225
Габаритні розміри баластного реостата, мм	635 × 480 × 710

Комплектність зварювального поста:

до комплекту поста належать: **а** – баластний реостат, **б** – апаратний блок, **в** – пальник.

Баластний реостат складається із шести секцій омичних опорів, які виготовлено з константової стрічки, та панелі з електричним устаткуванням. Перша секція опору СБ1 забезпечує отримання зварювального струму 20 А, тобто струму, при якому здійснюється збудження дуги на початку зварювання, а вмикання наступних секцій здійснюється ступінчасто зі збільшенням зварювального струму до 485 А.

Різними комбінаціями включення секцій опорів здійснюється ступінчасте регулювання зварювального струму через 15 А.

На панелі реостата встановлені силовий зварювальний контактор, контакти окремих секцій опорів, проміжні реле, реле часу, конденсатори, резистори та елементи арматури, через які виконують підключення.

Апаратний блок являє собою металевий ящик, усередині якого розміщена апаратура. На передній стінці блоку встановлено: тумблер підключення електричної схеми до джерела живлення, тумблер для набору величини зварювального струму, поплавковий вимірювач витрат газу, з регулюючим вентилям, штепсельні роз'єднувачі та штуцери для підключення зварювального пальника.

На задній стінці встановлено штепсельний роз'єднувач для під'єднання блоку до баластного реостата, спеціальний затискач для подачі струму та штуцери для підводу води.

Зварювальний пальник ГСН-1 призначено для зварювання вольфрамовим електродом діаметром $3 \div 5$ мм на струмах до 450 А. Він складається з корпусу, тримача та провідників зі шлангами для під'єднання до апаратного блоку. У тримач вмонтовано кнопку керування процесом зварювання. Корпус та тримач з'єднано шарнірно, що дозволяє змінювати кут між ними для покращення зручності роботи при зварюванні у важко доступних місцях. Для більшої гнучкості зварювальний кабель розподілений на дві паралельні гілки, кожна з яких знаходиться у гумовій трубці. Корпус пальника, сопло та обидві гілки зварного кабелю охолоджуються проточною водою.

Пальник ГСН-1 комплектується трьома змінними цангами та трьома змінними ковпачками.

Пальник ГСН-2 призначений для зварювання вольфрамовим електродом діаметром 2; 2,5 та 3 мм на струмах до 150 А. Його будова аналогічна будові пальника ГСН-1. Зварювальний кабель (одиначний) та корпус пальника охолоджуються водою. Пальник комплектується трьома змінними цангами та двома соплами. Схема керування зварювального поста

живиться від зварювального джерела живлення із жорсткою зовнішньою характеристикою та напругою 60 В.

3. Опис роботи електричної схеми поста ПРС-3М

Електрична схема (рис. 1) зварювального поста ПРС-3М, який призначено для ручного аргондугового зварювання, забезпечує:

1) автоматичну витримку часу для попередньої подачі захисного газу у пальник до збудження дуги;

2) пуск поста у роботу тільки після подавання до нього захисного газу та води, що охолоджує пост, а також його автоматичного відключення у разі припинення подачі газу чи води, або при зниженні їхнього тиску нижче встановленої норми;

3) збудження дуги на початковому струмі 20 А з наступним автоматичним його збільшенням до встановленого значення;

4) дистанційне регулювання зварювального струму;

5) автоматичну витримку часу подавання захисного газу у пальник після закінчення зварювання;

6) зварювання коротких переривчастих швів.

Включення електричної схеми здійснюється тумблером Пб, при цьому загоряється сигнальна лампа ЛС1.

При подаванні до апаратного блоку води здійснюється замикання контактів реле водяного тиску РВТ. Пуск посту виконується натисканням кнопки КП, що знаходиться на пальнику.

При натисканні кнопки КП вмикається електрогазовий клапан ЕГК, який відкриває подачу захисного газу у ресивер.

При досяганні у ресивері необхідного тиску спрацьовує реле РГТ та замикає ланцюг проміжного реле РП.

Витримка часу, від моменту включення клапану РГД до моменту спрацьовування реле РГД, необхідна для попередньої продувки газової магістралі посту. Цей час можна регулювати стисненням пружини реле газового тиску РГТ.

При включенні проміжного реле РП спрацьовує контактор КС, який замикає свій контакт у ланцюзі зварювання. Одночасно з цим виконується підготовка для вмикання ланцюгу живлення котушок контакторів К1-К5, а контактором РЧ вмикається ланцюг котушки реле часу РЧ.

При торканні електродом до виробу збуджується дуга на початковому зварювальному струмі 20 А. Цей струм забезпечується секцією РБ1 баластного реостата. Після збудження дуги від падіння напруги спрацьовує реле часу РЧ, яке з витримкою часу вмикає свій контакт РЧ1 у ланцюгу живлення котушок контакторів К1-К5, які повинні при цьому спрацювати та ввімкнути ті чи інші секції баластного реостата, що залежить від необхідної величини зварювального струму та задається попереднім вмиканням тумблерів П1-П5. При вмиканні всіх тумблерів забезпечується зварювальний струм 485 А.

Припинення зварювання здійснюється розмиканням пускової кнопки КП, при цьому вимикається електрогазовий клапан ЕГК та проміжне реле РП, яке своїми контактами Р2 та Р3 розмикає ланцюг живлення котушок контакторів К1-К5 та реле часу РЧ. При відключенні реле часу РЧ, розмикаються контакти РЧ3, що розриває ланцюг живлення котушки силового контактора КС, і зварювання припиняється. Подача газу з балону припиняється у момент відключення електрогазового клапана ЕГК, але газ, що залишився у ресивері, буде деякий час потрапляти у пальник та надійно захищати метал зварного шва, що охолоджується, від окиснення. Коли тиск газу у ресивері стане незначним, реле газового тиску РГТ під дією внутрішньої пружини повернеться у початкове становище. Штепсельні колодки ШР1 та ШР2 призначені для підключення сигнальних ламп.

Діоди Д1 та Д2 призначені для захисту від пробую котушок електрогазового клапана ЕГК та контакторів К1 та К2 у час їх відключення. Резистор R8 та конденсатори С1 та С2 призначено для захисту контактів Р3 від підпалювання,

а резистор R9 – для зменшення нагрівання котушки реле РЧ. Тумблер П7, який здійснює шунтування контакту РЧ1 та реле часу РЧ, призначено для збудження дуги відразу на робочому зварювальному струмі. Штепсельна розетка ШРЗ призначена для підключення контрольного амперметра при перевірці амперметра, що установлений на апаратному блоці.

Підключення зварювального посту

Зварювальний пост підключають за електричною схемою до зовнішніх під'єднань. Для цього потрібно:

- підключити зварювальне устаткування до апаратного блоку та закріпити в пальник вольфрамовий електрод;
- під'єднати до системи поста воду, що охолоджує пальник, і захисний газ;
- підключити пост до джерела живлення.

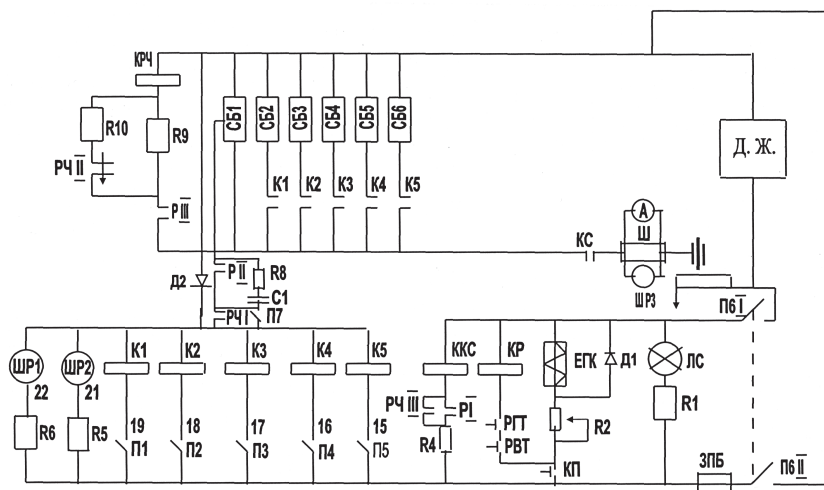


Рис. 1. Принципова схема поста ПРС-3М

Перевірка роботи електричної схеми

Після підключення зварювального поста перевіряють роботу електричної схеми: натисканням кнопки КП – роботу силового контактора, проміжного реле та електрогазового клапана.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Пост для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом у середовищі захисних газів ПРС-3М.
2. Робоче місце для зварювання неплавким електродом (рис. 4 роботи 5).
3. Дріт зварювальний Св-08Г2С (або ОК Tigrod 12.64), аргон.
4. Лінійка, секундомір, штангенциркуль, планки з низьковуглецевої сталі, алюмінію, титану, міді.
5. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

1. Вивчити устаткування для зварювального поста ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом у середовищі аргону.
2. Виконати зварювання стикових з'єднань із заданих матеріалів (сталь, алюміній, титан, мідь) на режимах, що дає викладач.
3. При визначенні максимально припустимого зварювального струму залежно від діаметра електрода виконати наступні операції:
 - закріпити в пальник вольфрамовий електрод діаметром 1,5 мм (кінець електрода повинен бути заточений під кутом 60°);
 - встановити довжину дуги 2 мм, витрата аргону 5 л/хв, зварювальний струм 20 А;
 - запалити зварювальну дугу на струмі прямої полярності;

- збільшувати зварювальний струм та спостерігати за дугою через зварювальну маску, зафіксувати момент початку оплавлення кінця вольфрамового електрода і визначити величину зварювального струму та напруги дуги. Теж саме виконати з електродами діаметром 2 та 3 мм;

- за результатами досліджень побудувати графік залежності допустимого зварювального струму від діаметра електрода.

4. За прямою нагрівання дослідити вплив відстані ℓ від соплу до пластини, що зварюється, на якість захисту. Для цього на фіксованій відстані ℓ запалити дугу на струмі 150 А та тримати у наміченій точці планки доти, поки зварювальна ванна не досягне розміру приблизно діаметру 10 мм. Потім загасити дугу шляхом вимикання зварювального струму та остудити зварювальну ванну під захистом газу із сопла пальника, протягом не менше 15 с. Якщо після охолодження поверхня плями срібlistого кольору, то якість захисту гарна; світло-солом'яного – припустима; синього та сірого – неприпустима. Змінити відстань від сопла до пластини та повторити зварювання.

Результати досліджень записати у табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність струму від діаметра електрода та якість захисту від відстані сопла до пластини

№ з/п	Параметри режиму					Колір поверхні		Висновок
	$I_{зв}$, А	U_d , В	Q , л/хв	d_e , мм	ℓ , мм	шва	навколо- шовної зони	

5. Розробити технологію зварювання деталі, що надана викладачем, з врахуванням технічних можливостей поста ПРС-3М.

5. Зміст звіту

Звіт має складатися з наступного:

1. Основні положення технології зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів.
2. Короткий опис комплектації зварювального поста ПРС-3М. Схема поста.
3. Методика проведення експериментальних досліджень по визначенню припустимого зварювального струму; вивченню умов якісного захисту шва та представлення результатів у вигляді таблиці та графіків.
4. Результати виконання індивідуального завдання.

6. Контрольні питання

- Сформулюйте сутність процесу зварювання електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів.
- Область застосування, переваги та недоліки зварювання електродом, що не плавиться, у середовищі інертних газів.
- Основні фізичні властивості аргону та гелію.
- Які інертні гази рекомендуються для дугового зварювання різних металів?
- Назвіть способи захисту металу газами при зварюванні.
- Що таке ядро струменю захисного газу?
- Які фактори впливають на ефективність струминного захисту при зварюванні?
- Від чого залежить витрата захисного газу при зварюванні як як він визначається?
- Якими основними властивостями володіє вольфрам?
- Яким способом підвищують стійкість вольфрамових електродів?
- Технологічні особливості та методика вибору режимів зварювання у середовищі інертних газів.

- Як впливає відстань від сопла до деталі на якість захисту зварювальної ванни?
- Як критично допустимий струм залежить від діаметра електрода?
- Будова принципової електричної схеми поста ПРС-3М.

Робота № 7. Автоматичне вертикальне зварювання стикових швів

1. Мета роботи

1. Вивчення конструкції та електричної схеми автомата А-1150у.
2. Ознайомлення з технологією стикового зварювання монтажних швів на стапелі. Набуття практичних навичок виконання зварних швів з примусовим формуванням шва.
3. Визначення витрати електроенергії при зварюванні.

2. Загальні відомості

При сучасних методах формування корпусу на стапелі з секцій або крупних блоків найвідповідальнішими є монтажні з'єднання зовнішньої обшивки, велика частина яких розташована у вертикальному або похилому положенні. Тривалий час такі з'єднання зварювалися виключно штучними електродами, доки у ІЕЗ імені Є.О. Патона не було розроблено спосіб автоматичного зварювання під флюсом з примусовим формуванням шва.

Автомат А-1150у призначено для зварювання порошковим дротом вертикальних та похилих стикових швів металу завтовшки 8 ÷ 30 мм з примусовим формуванням шва, яке здійснюється двома повзунами з водяним охолодженням.

Автомат переміщується безпосередньо по кромках стику, що зварюється, та може проходити закруглення радіусом не менше 2 м. Загальний вигляд автомату А-1150у та його габаритні розміри показано на рис. 1.

Технічні характеристики

Напруга мережі, В	220 ÷ 380
Зварювальний струм (при ТР – 65 %), А	До 500
Діаметр електродного дроту, мм	3 ÷ 3,5
Швидкість зварювання, м/год	2 ÷ 12
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	180 ÷ 220
Зміна швидкості подачі та зварювання (за рахунок зміни частоти обертання двигунів)	плавна

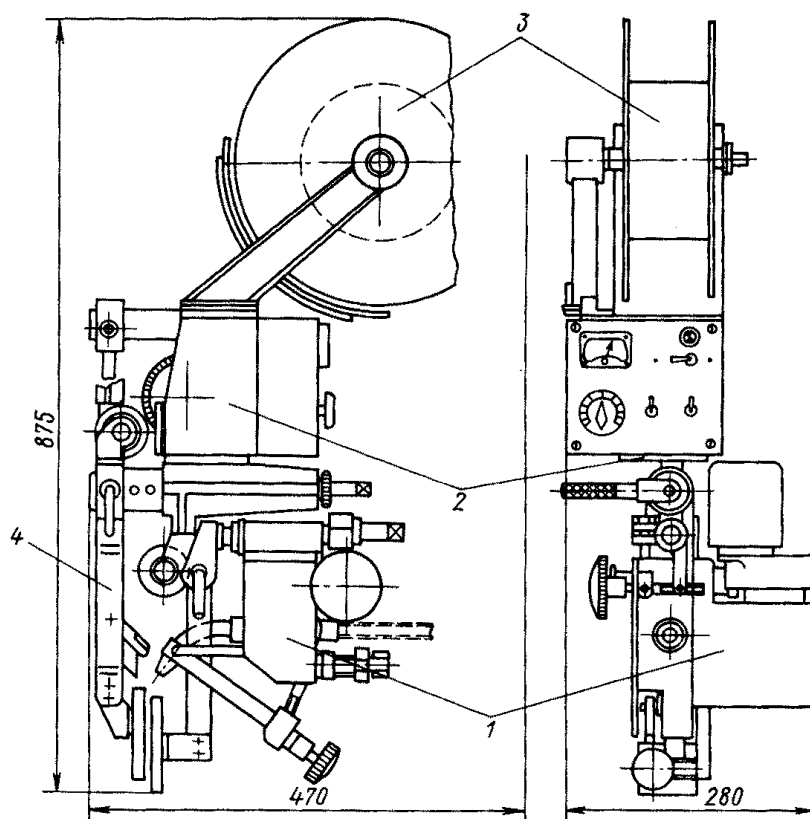


Рис. 1. Автомат А-1150у

Для полегшення монтажу автомату у незручному положенні на лісах стапелю його виконують з чотирьох окремих вузлів: механізму подачі 1; механізму пересування 2; касети з дротом 3; підвіски заднього повзуна 4.

Вузли встановлює безпосередньо на робочому місці зварник, тому вони повинні мати мінімальні габарити та масу.

Механізм пересування складається з візка, ходового механізму та пульта управління. Візок є базовою ланкою між ходовим механізмом, підвіскою заднього повзуна та підвіскою переднього повзуна. На ньому розташовано ролик, що копіює кромки стику, а також додаткові бічні ролики, які ліквідують перекис автомату при зварюванні кромок.

Одночасно візок є силовим елементом автомату, що сприймає сумісно із задньою підвіскою зусилля від притиснення повзунів, які розвиваються потужною притискною пружиною, тому він виконується у вигляді міцної зварної конструкції. У візок закріплено корпус притискної пружини, яка складається з 30 пружинних шайб та у робочому положенні знаходиться в стиснутому стані та відразу розвиває зусилля притискання, яке достатнє для якісного притискання формуючих повзунів.

Стискаючий пружину гвинт сполучено за допомогою штифта з плоским ножом, який пропускається у зварювальний зазор та з'єднує механізм пересування із задньою підвіскою. З'єднання виконується при монтажі автомату на виріб за допомогою сполучної чеки, яку встановлюють у отвори задньої підвіски та ножа. Для того, щоб можна було зварювати метал завтовшки $8 \div 30$ мм, на ножі автомата виконано три отвори, які відповідають мінімальній, середній та максимальній товщині. Ходовий механізм пересуває автомат за стиком роликом, який копіює кромки. Механізм приводиться у рух електродвигуном постійного струму марки Д90А через редуктор.

Провідний ролик знаходиться на валу головної черв'ячної пари редуктора. Ролик виготовлено з високоміцної сталі

із гострими зубами, він обертається на двох підшипниках, а з віссю редуктора сполучений планкою із квадратним отвором та притискною гайкою. Пульт управління автоматом закріплено на корпусі редуктора з лицьової сторони. На пульті управління розташовано прилади та органи управління: вольтметр, потенціометр, тумблер та контрольна лампа включення контактора, тумблер «візок вниз – вгору», тумблер «електрод вниз – вгору». Для зручності огляду та ремонту схеми управління кришка пульта виконана на чотирьох гвинтах.

Механізм подачі включає підвіску переднього повзуна, пружинний пристрій для притиску повзуна та механізм регулювання положення електрода у зазорі.

Сам механізм подачі складається із двигуна марки Д90А із штатним та додатковим редуктором. Додатковий редуктор змонтовано у зварному алюмінієвому корпусі, який включає дві циліндричні та дві конічні зубчаті пари. Менша з циліндричних шестерень приводиться в обертання від вала штатного редуктора. На одному валу з конічною шестернею, що приймає зусилля від редуктора, знаходиться ролик подачі дроту.

Ролики подачі виконано у вигляді зубчатої пари з клиновим каналом для дроту. Зварювальний дріт може подаватися плавно, за рахунок регулювання потенціометром частоти обертання двигуна подачі. На корпусі механізму подачі закріплено струмопідвід з мундштуком та механізми регулювання, що дозволяють встановлювати положення електрода за товщиною деталей та зміщувати його впоперек зазору.

На валу провідного ролика подачі дроту укріплено шарнірний механізм приводу коливань електрода. Штатний механізм коливань електрода та підвіска заднього повзуна показана на рис. 2.

Механізм коливань (рис. 2,б) встановлюють на механізм подачі без яких-небудь переробок останнього.

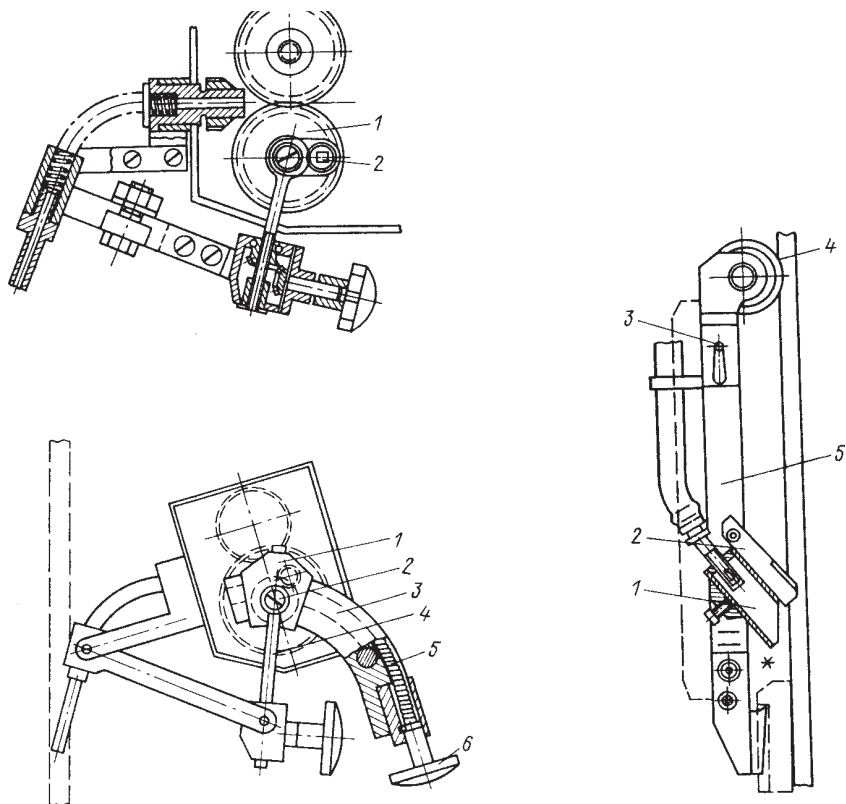


Рис. 2. Механізм коливань електрода та підвіска заднього повзуна

Принцип дії механізму коливань полягає у тому, що в пазах сектору 3 рухається повзун 1, на якому шарнірно закріплено тягу 4. При обертанні ручки 6 повзун разом із тягою зміщується з центру осі провідного ролика, що викликає при обертанні ролика та подачі дроту коливання кінця електрода, амплітуда якого може регулюватися збільшенням або зменшенням ексцентриситету осі тяги щодо осі ролика, тобто обертанням ручки. Для передачі обертання за радіусом використано гнучкий гвинт 5, який виконано у вигляді спіралі з пружинного дроту діаметром 1,6 мм. Сектор закріплено на осі 2 шарнірно.

Підвіска заднього повзуна (рис. 2,в) є зварною конструкцією, що складається з двох планок 5 перерізом 28×8 мм, які скріплено між собою поперековою жорсткістю. У верхній частині осі укріплено задній копірний ролик 4, що вільно обертається на підшипнику. У нижній частині підвіски на двох болтах закріплено спеціальну пластину для сполучення із фігурним виступом заднього повзуна. У середній частині підвіски є місце для закріплення сопла подачі газу 1, яке необхідне при зварюванні порошковим дротом, що вимагає додаткового захисту вуглекислим газом. Вище за сопло закріплено кистиль 2, який призначено для центровки заднього повзуна по зазору, а також для захисту сопла від механічних пошкоджень. На підвісці закріплюються також рукави (водяні та газові), які йдуть від заднього повзуна та сопла для подачі газу до спеціального хомута, який надягають при монтажі автомату на перехідну планку. Ця планка подається у зварювальний зазор та закріплюється на кронштейні у верхній частині механізму пересування. У перехідній планці виконано канали для води охолодження та газу, які з лицьової сторони автомату переходять у трубки, на які закріплюються шланги від водяної та газової магістралей. На відстані 65 мм від осі верхнього ролика виконано отвір для з'єднання задньої підвіски з ножом механізму пересування. Отвір калібрують під спеціальний сполучний штир 3.

При зварюванні самозахисними дротами або при використанні автомату А-1150у для електрошлакового зварювання сопло подачі газу може бути зняте з підвіски із шлангами.

Електрична схема автомата А-1150у. Електроустаткування автомата включає двигуни подачі електродного дроту та переміщення візка Д2 та Д3 потужністю 90 Вт, зварювальний перетворювач ПСГ-500 (напруга 40 В, сила струму до 500 А); апаратуру управління, захисту та сигналізації.

Апаратура управління розміщується у шафі управління та у пульті управління автомата, сигнальна лампа ЛС знаходиться

на панелі пульта управління. Напруга перетворювача ПСГ-500 – 380 В. Схема керування та електродвигуни Д2 і Д3 живляться від зварювального перетворювача ПСГ-500 (рис. 3).

Все електроустаткування апарату захищається автоматичним вимикачем АВ1, електродвигун насоса охолодження – автоматичним вимикачем АВ2, схема управління – АВ3.

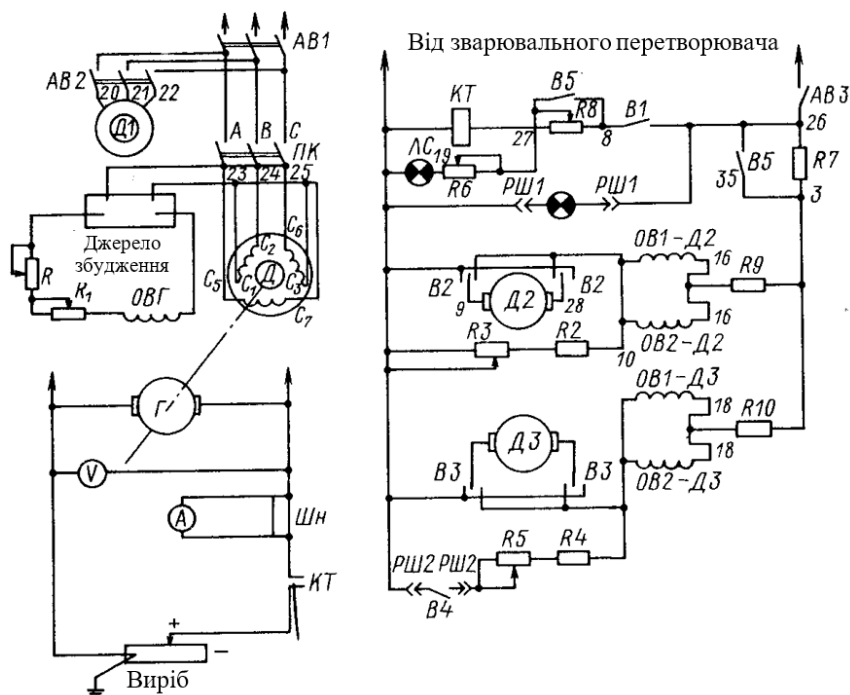


Рис. 3. Електрична схема автомата А-1150у

Перед пуском автомата необхідно включити автоматичні вимикачі АВ1, АВ2 та АВ3, при цьому включення вимикача АВ2 вмикає насос системи охолодження Д1; пакетним вимикачем включити перетворювач ПСГ-500. У режимі наладки перемикачами В2, В3 слід перевірити роботу двигунів Д2

та ДЗ; за допомогою потенціометрів R3 та R5 потрібно встановити необхідні швидкості подачі дроту та руху візка; після цього включити за допомогою тумблера В1 зварювальний контактор КТ. При цьому на пульті управління спалахує лампа ЛС червоного кольору. Далі слід перевести тумблер В2 подачі дроту в положення «Дріт вниз» і почати процес зварювання. Включенням мікроперемикача В4, який розташовано на ручці щитка зварювальника, частоту обертання двигуна ДЗ можна збільшити до максимальної.

Порошкові дроти для автоматичного вертикального зварювання

Розробкою порошкових дротів для різних видів зварювання та наплавлення успішно займається ІЕЗ імені Є.О. Патона, а також ряд науково-дослідних інститутів країни. Створені ними типи порошкових дротів дозволяють механізувати процеси зварювання у промисловості та будівництві.

Високі вимоги, що пред'являються до якості зварювання сучасних суден та особливо до монтажних стикових швів корпусу, примушують постійно вдосконалювати технологію їх виконання. Застосування порошкових дротів для автоматичного зварювання монтажних стиків зовнішньої обшивки має ряд переваг порівняно із зварюванням штучними електродами та механізованим зварюванням у вуглекислому газі, а саме:

- значно вища продуктивність за рахунок примусового формування шва та більших режимів зварювання;
- можливість виконання зварювання на відкритих стапелях.

Порошкові дроти розділяють за наступними основними ознаками: способом захисту металу шва від кисню та азоту повітря, типу осердя, механічними властивостями металу шва. Іноді порошкові дроти класифікують ще і за конструкцією оболонки.

За способом захисту дроти поділяють на самозахисні (без додаткового захисту) та з додатковим захистом. Додатковий захист при зварюванні порошковими дротами може здійснюватися захисними газами (вуглекислий газ, аргон та суміші), а також флюсами.

За типом осердя дроти поділяють на п'ять типів: рутило-органічні, рутилові, карбонатно-флюоритні, рутил-флюоритні, флюоритні.

За конструкцією оболонки розрізняють порошкові дроти трубчастого перерізу, із вальцюванням усередину однієї або двох кромки, складного перерізу (рис. 4). Конфігурація оболонки залежить як від принципів конструювання дроту, так і від міркувань технологічного характеру. Оболонка дроту – це не тільки форма для компонентів осердя, але й основний струмопровідний елемент.

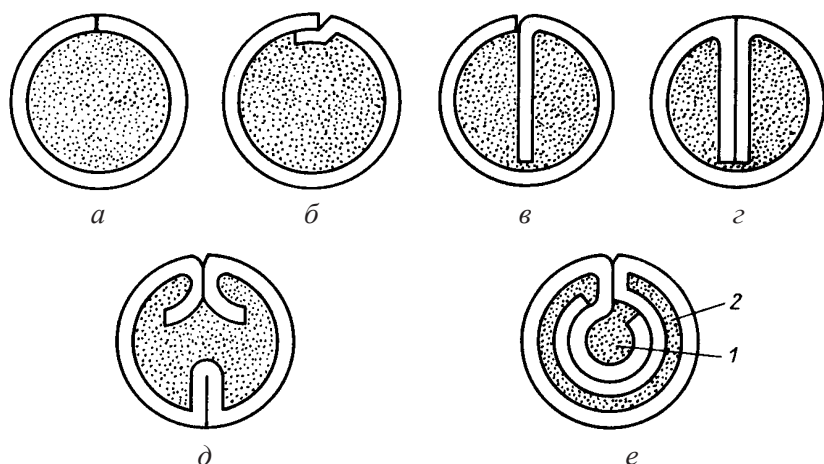


Рис. 4. Конструкція оболонки порошкових дротів:

а – трубчастого перерізу; *б* – трубчастого з напуском;
в – з вальцюванням усередину однієї кромки; *г* – з вальцюванням усередину двох кромки; *д, е* – складного перетину; *1* – перший шар шихти; *2* – другий шар шихти

Зварювально-технологічні властивості компонентів осердя дроту повинні відповідати наступним вимогам: забезпечувати добру стабілізацію горіння дуги; зварювання у різних просторових положеннях; розрахунковий коефіцієнт наплавлення; максимальне зниження втрат на чад та розбризкування; достатній діапазон регулювання напруги на дузі.

Для стабілізації дуги до складу шихти порошкових дротів вводять легко іонізуючі елементи (калій, кальцій, натрій та ін.).

Втрати на чад та розбризкування також визначаються складом осердя дроту. При цьому на зменшення розбризкування впливає підвищення стабільності горіння дуги, а надмірна кількість газоутворюючих речовин, навпаки, викликає збільшення розбризкування електродного металу.

Вимоги, що пред'являються до осердя дроту з погляду металургії: він повинен забезпечувати захист розплавленого металу від кисню та азоту повітря; містити необхідні для легування шва компоненти; утворювати достатню кількість шлаку, сприяти доброму формуванню шва; розкиснювати розплавлений метал.

Ефективність захисту розплавленого металу значною мірою залежить від величини та стабільності одного з основних показників – коефіцієнта заповнення дроту K_3 , тобто відношення кількості матеріалу осердя G_{oc} до загальної маси дроту $G_{др}$. Залежно від призначення дроту K_3 коливається у широких межах – від 10 до 40 %.

Питома продуктивність процесу розплавлення оболонки дроту, віднесена до 1 А зварювального струму, характеризується коефіцієнтом розплавлення.

На практиці частіше використовують у розрахунках коефіцієнт наплавлення, який визначає кількість металу G_n , що наплавляється дротом в одиницю часу t на 1 А зварювального струму $I_{зв}$ (г/А·год).

Втрати електродного металу (без урахування втрат на чад та випаровування) враховуються коефіцієнтом розбризкування.

Продуктивність (кг/год) процесу зварювання порошковим дротом визначається масою металу, що наплавляється в одиницю часу.

3. Матеріали, режими та технологія автоматичного вертикального зварювання стикових швів порошковим дротом

Схема процесу автоматичного вертикального зварювання порошковим дротом показана на рис. 5. Суть способу полягає в наступному: у плавильний простір, утворений кромками стику та формуючими повзунами 6, подається порошковий дріт 5. При включенні зварювального струму збуджується дуга та починається плавлення дроту, а також оплавляються кромки деталей, рідкий метал стікає вниз, утворюючи загальну зварювальну ванну 4. Зварювальна ванна захищена від впливу атмосфери газовими складовими осердя порошкового дроту 3 при зварюванні самозахисним дротом та вуглекислим газом при зварюванні дротом з додатковим захистом.

У міру заповнення зазору розплавленим металом зварювальний автомат підіймається вгору разом з повзунами. Між ними формується шов 2, а на поверхні ванни, між повзунами та швом, утворюється шар шлаку за рахунок плавлення шлакових складових осердя дроту 5. Швидкість переміщення автомату (швидкість зварювання) залежить від товщини металу та режимів зварювання.

На відміну від електрошлакового зварювання, процес автоматичного вертикального зварювання порошковими дровами є чисто дуговим, що має свої переваги та недоліки. Примусове формування шва відбувається практично так само, як при електрошлаковому зварюванні.

До переваг цього способу при зварюванні вертикальних монтажних стиків корпусів суден слід віднести:

- можливість безпосереднього огляду плавильного простору та положення в ньому електрода, що спрощує

процес коректування режиму в процесі зварювання та забезпечує якість формування шва;

- значне поліпшення механічних характеристик металу шва та зварного з'єднання порівняно із відповідними характеристиками швів, які виконано електрошлаковим зварюванням, особливо ударної в'язкості у зоні термічного впливу, оскільки розміри зони малі і зерна не встигають вирости через нетривалу дію високих температур.

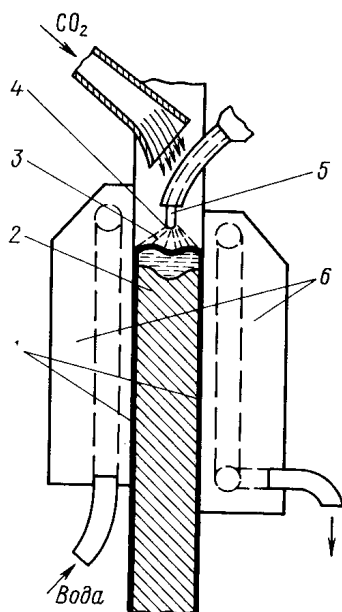


Рис. 5. Схема процесу автоматичного вертикального зварювання порошковим дротом

Підвищення корозійної стійкості зварних швів корпусів суден, особливо швів зовнішньої обшивки у районі змінної ватерлінії, які працюють у середовищі вода–повітря, є однією з актуальних задач, що стоять перед суднобудівниками. З метою її виконання розроблено та застосовуються

спеціальні зварювальні матеріали з підвищеним вмістом легуючих елементів. Корозійна стійкість таких швів рівна стійкості сталей 09Г2 та 10ХСНД. До таких матеріалів відносяться дроти Св10ГН та Св08ГСНТ, а також електроди Э-138/50Н. Монтажні стикові шви зовнішньої обшивки, зварювання яких було автоматизовано, виконують порошковим дротом ПП-АН15, корозійна стійкість яких не вища стійкості електродів УОНІ-13/45. Підвищити корозійну стійкість швів, що одержують при автоматичному вертикальному зварюванні порошковим дротом, вдалося завдяки розробці порошкового дроту ПП-АН19Н. Корозійна стійкість швів відповідає стійкості швів дротів Св10ГН та Св08ГСНТ.

Порошковий дріт ПП-АН19Н відноситься до карбонатно-флюоритного типу, конструкція оболонки дроту – двошарова.

У дроті такої конструкції для досягнення рівномірного плавлення осердя та оболонки шари осердя розділено між собою двома шарами стрічки, яка представляє одне ціле з оболонкою (рис. 4,е).

Завдяки цьому можна вводити у середину оболонки більшу кількість металу, а розміщення двох різних шихт у окремих сформованих порожнинах полегшує створення надійного захисту розплавленого металу від атмосфери повітря.

Двошарова конструкція осердя дроту впливає також на характер переносу та плавлення металу. Завдяки розташуванню всіх металевих порошків осердя у внутрішній порожнині, крапля розплавленого металу формується у центральній частині перерізу дроту. При цьому утворюються умови, що наближають дріт двошарової конструкції за характером захисту до електрода з покриттям, втулка якого створює захисний бар'єр для краплі металу, що оплавляється у центрі.

До осердя дроту карбонатно-флюоритного типу як газотворюючі матеріали вводять карбонати кальцію, натрію або магнію, як шлакоутворюючі використовують концентрат

рутилу, алюмосилікати, оксиди лужноземельних металів, флюоритовий концентрат. Розкиснюють метал фероманганом, феросиліцієм. Для додаткового розкиснення та з'єднання азоту у нітриди в осердя дроту цього типу додають титан та алюміній.

Для дроту двошарової конструкції коефіцієнти заповнення для кожного шару дроту визначають окремо: для першого шару повинен знаходитися у межах $13 \div 16 \%$; для другого шару повинен складати $17 \div 20 \%$.

Коефіцієнт наплавлення дроту ПП-АН19Н складає $14 \div 16$ г/А·год, коефіцієнт витрати – 1,3.

Використовуючи дріт двошарової конструкції та комплексний газовий захист, можна проводити зварювання у широкому діапазоні режимів, не побоюючись виникнення пор. У всіх випадках зміни напруги (у рекомендованих межах) механічні властивості металу шва та зварного з'єднання стабільні. Високий коефіцієнт наплавлення дротом ПП-АН19Н забезпечується також додаванням у шихту до 40 % залізного порошку.

Форма зварного шва добра, дефекти у вигляді непроварів, пор та шлакових включень відсутні.

При автоматичному зварюванні дротом ПП-АН19Н утворення дефектів у зварних швах можливе при великому зволоженні осердя (більше 2 %), а також при зварюванні іржавого металу.

Зварювання дротом ПП-АН19Н виконується на максимально допустимому режимі, що забезпечує якісне сплавлення кромки, добре формування шва та сприяє підвищенню продуктивності.

Конструкція оболонки дроту ПП-АН19Н складна, що значно збільшує її загальну жорсткість. Така оболонка містить у 2 рази більше металевої стрічки, ніж звична оболонка, завдяки чому збільшується кількість наплавленого металу та, відповідно, продуктивність зварювання.

При зварюванні дротом ПП-АН19Н утворюється значна кількість шлаку. Зайвий шлак необхідно зливати у процесі зварювання. Шлак має хорошу здатність рівномірно покривати шов з обох боків стика. При охолодженні шлак відділяється від шва найчастіше самостійно, іноді для цього потрібна легка механічна дія. На рис. 6 показане автоматичне вертикальне зварювання порошковим дротом борту танкера проекту 15966 на ВАР ХСЗ м. Херсон. Режими зварювання дротом ПП-АН19Н наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Режими автоматичного вертикального зварювання стикових з'єднань порошковим дротом ПП-АН19Н

Товщина металу, мм	Величина зазору, мм	Напруга, В	Струм, А	Швидкість зварювання, м/год
8 ÷ 10	10 + 2	26...27	320...350	7,0...7,5
12 ÷ 14	12 + 2	28...29	350...400	4,5...5,0
16 ÷ 18	12 + 2	29...31	400...420	3,5...4,0
20 ÷ 22	14 + 2	31...32	450...550	3,0...3,5
24 ÷ 30	16 + 2	31...32	550...570	2,5...2,8

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Автомат А-1150у.
2. Дріт зварювальний ПП-АН19Н, вуглекислота.
3. Секундомір, штангенциркуль, лінійка, планки з низьковуглецевої сталі.
4. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

1. Вивчення конструкції та електричної схеми автомата А-1150у.
2. Виконати зварювання стикового з'єднання автоматом А-1150у на режимах, які задані викладачем.

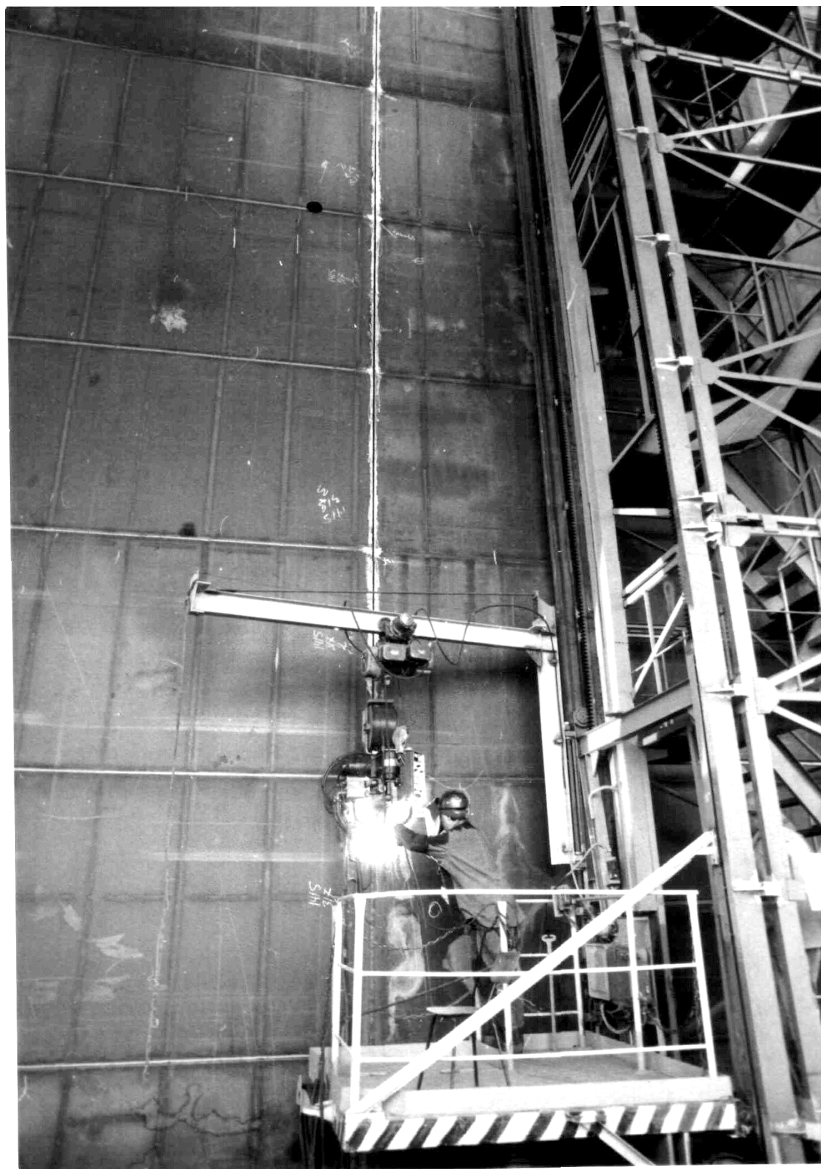


Рис. 6. Автоматичне вертикальне зварювання з примусовим формуванням бортової секції танкера автоматом А-1150у

3. Визначити витрату електроенергії при автоматичному вертикальному зварюванні порошковим дротом та порівняти з витратою при РДЗ. Питому витрату електроенергії (на 1 м шва) визначити за формулою:

$$A = (I_{\text{зв}} \times U_{\text{д}} / k \times V_{\text{зв}}) \times 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}, \quad (7.1)$$

де k – коефіцієнт корисної дії джерела живлення ($\sim 0,8$).

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення теорії та технології зварювання порошковим дротом.
2. Опис, призначення та технічні характеристики автомату А-1150у.
3. Опис технології автоматичного вертикального зварювання.
4. Загальні висновки за роботою.

6. Контрольні питання

- Область застосування автоматичного зварювання порошковим дротом.
- Переваги та недоліки автоматичного зварювання порошковим дротом.
- Суть способу зварювання порошковим дротом.
- Що таке порошковий дріт?
- Які функції виконує шихта порошкового дроту при зварюванні?
- Які параметри режиму зварювання порошковим дротом відносяться до основних?
- Порядок чисельних значень цих параметрів.
- Як впливає зварювальний струм, напруга дуги та швидкість зварювання на формування шва?
- Дріт яких діаметрів застосовують при зварювання порошковим дротом?

- Який рід струму застосовують при зварюванні порошковим дротом?
- Які види зварних з'єднань та швів виконують при зварюванні порошковим дротом?
- Як обрати режими зварювання?
- Основні типи автоматів для зварювання порошковим дротом.
- Конструкція та технологічні можливості автомата А-1150у.
- Призначення автоматичного вертикального зварювання при будівництві суден.
- Принцип регулювання параметрів процесу зварювання на автоматі А-1150у
- Порядок роботи автомата.

Робота № 8. Технологія виготовлення складаних таврових балок на верстаті СТС-2М

1. Мета роботи

1. Ознайомитись з конструкцією та схемою керування верстата для зварювання таврових балок СТС-2М.
2. Ознайомитись з технологією зварювання таврових балок на верстаті СТС-2М.
3. Розрахувати режим таврового зварювання та визначити витрату флюсу і дроту.
4. Визначити витрату електроенергії при зварюванні.

2. Загальні відомості

Відповідно до технологічної класифікації складання та зварювання суднокорпусних конструкцій профільний прокат умовно називають деталями.

Виробництво таврових балок кожного виду через схожість форми та великої кількості, що йде на судно, наближається до багатосерійного виробництва. На цій підставі на заводах часто організовують спеціальні лінії виготовлення окремих видів таврових балок.

Тавровими балками прийнято називати вузли зі співвідношенням довжини до більшого розміру поперекового перерізу, що перевищує $4,5 \div 5$. У суднобудуванні найбільш розповсюджений переріз балок тавровий з високою стінкою, симетричний і несиметричний.

На більшості заводів виробництво таврових балок зосереджене на окремих ділянках або механізованих лініях, які оснащені спеціалізованим складально-зварювальним устаткуванням.

Залежно від розмірів та річної програми випуску застосовують різні типи складально-зварювальних верстатів і механізованих ліній. На верстатах виконується складання стінки з полицею, а потім їхнє зварювання. В існуючих різновидах

верстатів зварювання (автоматичне під флюсом або у вуглекислому газі) може виконуватись при вертикальному або горизонтальному положенні стінки.

Постійне збільшення тоннажу суден, які будуються, призводить до значного зростання об'єму зварних профілів, від 6 до 20 % всього профільного прокату. Для корпусу танкера дедвейтом 80 000 т маса зварного профілю складає $15 \div 18 \%$, для танкера дедвейтом 165000 т – уже $30 \div 35 \%$.

Перша установка для виготовлення зварного таврового профілю розроблена у 1962 р. компанією Kaiser Pullmax AB (Швеція). Установка розрахована на випуск прямого таврового профілю з висотою стінки до 800 мм; для зварювання елементів балок установка оснащена двома двохелектродними зварювальними головками. Таврові балки виготовлялися без встановлення фіксуючих прихваток стінки до полиці, а заздалегідь напружений метал виключав зварювальні деформації.

Одна з останніх установок фірми ESAB, автоматизована установка типу IT 258 BA, розрахована на виготовлення таврового та двотаврового профілю, а також балок L-, U-подібних перерізів.

З появою автоматизованих установок для зварювання таврових балок істотно знизилися витрати на їх виготовлення. При будівництві корпусу судна, на яке необхідно 5000 т сталі, 20 % маси складає зварний тавровий набір. Застосування автоматизованих установок для виготовлення профілю дає значну економію.

Вітчизняною промисловістю також виготовлялись подібні установки, однією з яких є верстат СТС-2М.

3. Верстат СТС-2М для складання та автоматичного зварювання таврових балок

Верстат (рис. 1) призначено для механізованого складання та автоматичного зварювання під флюсом прямих і криволінійних балок таврового перерізу із стінками постійної та змінної

висоти. Верстат використовується для виготовлення деталей корпусу судна – стрингерів, карлінгів, рамних шпангоутів, бімсів та ін. Взаємне центрування заготовок, подача їх та зварювання виконується автоматично.

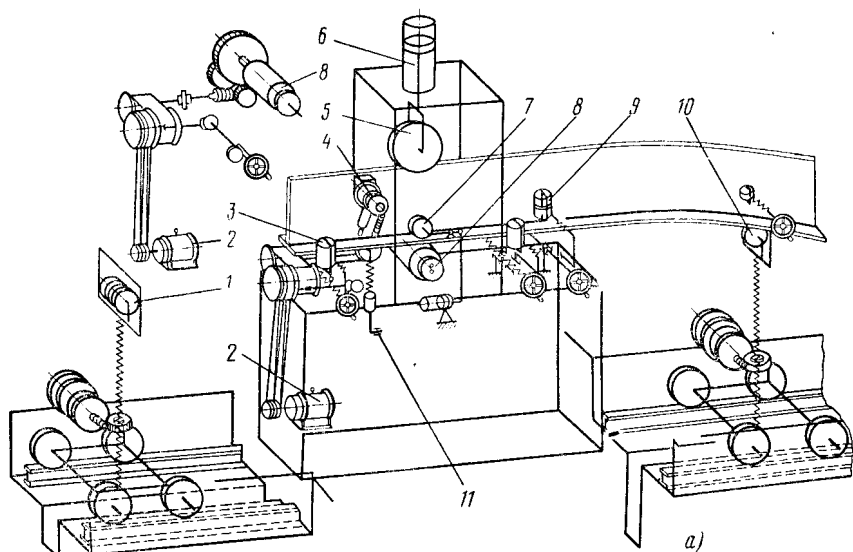


Рис. 1. Кінематична схема верстата СТС 2М для складання та зварювання таврових балок

Складання та зварювання таврових балок здійснюється наступним чином. Полицю тавра укладають на привідний ролик 8 верстата та ролик 10 задньої рухомої опори. За допомогою бічних роликів 3 полка центрується та притискається до привідного ролика 8 прижимним роликом 7, потім на неї встановлюють стінку тавра, яка також центрується роликами 9 та притискається до полиці верхнім роликом 5, який закріплено на штоку пневмоциліндра 6. Включенням електродвигуна 2 через клинову передачу, черв'ячний редуктор та пару циліндричних шестерень приводиться в обертання привідний ролик, та складений тавр отримує поступальний

рух. До кромки тавра підводять зварювальну головку 4. Потім включається подача електродного дроту та флюсу і починається зварювання. Зварювання проводиться одночасно з двох сторін двома зварювальними головками. Швидкість подачі дроту у зону дуги постійна та регулюється ступінчатою коробкою швидкостей, діаметр електродного дроту 2 мм. Швидкість руху тавра при зварюванні постійна, має плавне регулювання тиристорним регулятором, який включено у якірний ланцюг електродвигуна 2. Зварювання виконується постійним струмом зворотної полярності силою від 200 до 400 А. Після зварювання половини довжини швів передній кінець тавра спирається на ролики передньої опори 1.

Висота роликів передньої та задньої опор у процесі руху криволінійного тавра регулюється контактом 11 (рис. 2), що ковзає та забезпечує нормальне розташування деталей у зоні зварювання. Під дією пружини 13 шток 12 підіймається доти, поки ролик 14 не упреться у полку тавра. На другому кінці штоку закріплений контакт 11, що ковзає. Якщо цей контакт не замикається з нерухомими контактами 15 або 16, задня опора залишається нерухомою, що відповідає нормальному положенню тавра у зоні зварювання.

Технічні дані верстата для складання та автоматичного зварювання таврових балок наведено нижче.

Розміри балок, що виготовляються, мм

товщина полиці і стінки	$4 \div 16$
ширина полиці	$40 \div 250$
висота стінки	$60 \div 800$
довжина балки	не менше 1500
Найменший радіус кривизни контура стінки	2500

При переміщенні тавра у процесі зварювання передній кінець його може піднятися або опуститися. У цьому випадку

шток під дією пружини або ваги тавра відповідно підніметься або опуститься, замикаючи контактом, що ковзає, верхній контакт 15 або нижній 16. При замиканні контакту, що ковзає, з контактом 16, включається електродвигун задньої опори, що обумовлює опускання роликів 10. При цьому, передній кінець тавра підводиться, шток під дією пружини переміщується догори до розмикання контакту, що ковзає. При замиканні контакту, що ковзає, з контактом 15, напрям обертання електродвигуна задньої опори змінюється, що примушує опорний ролик підійматися. При цьому передній кінець тавра опускається – шток переміщується вниз до розмикання контакту, що ковзає. Коли середня частина тавра наблизиться до відповідного ролика, вимкнеться управління контактом, що відстежує, задньої опори та ввімкнеться управління передньою опорою 1.

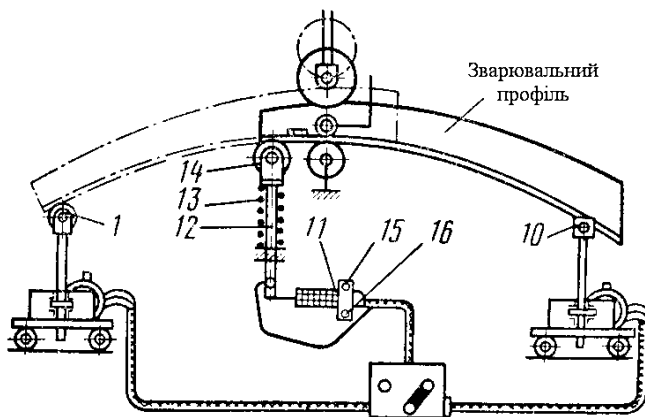


Рис. 2. Схема роботи контакту стеження

Завантаження флюсу здійснюється у бункер, який встановлено у верхній частині верстата та з'єднано пневмошлангами з лівим і правим ежектором, якими здійснюється відсмоктування флюсу від місця зварювання у бункер.

Електрична схема керування верстата для зварювання таврів показана на рис. 3.

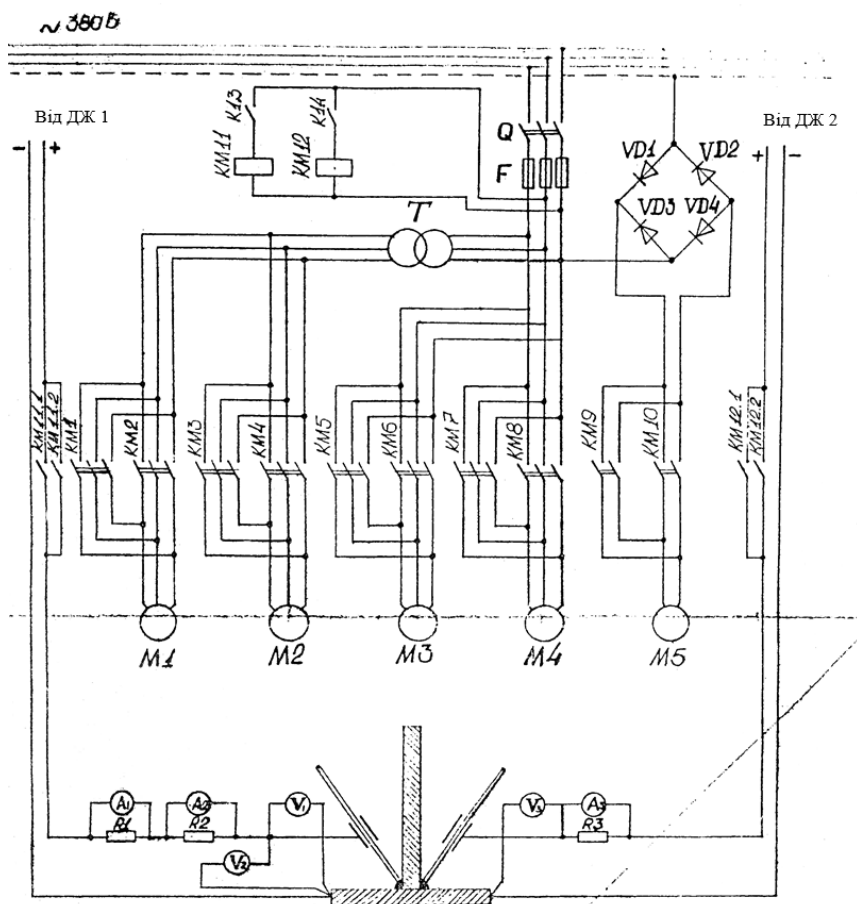


Рис. 3. Схема керування приводами верстата для зварювання таврів

На верстаті можна зварювати таврові балки як симетричного, так і несиметричного профілю із зсувом вертикальної

стілки по відношенню до горизонтальної полиці. До числа технологічних особливостей зварних таврів відноситься значна довжина подовжніх швів, що провокує подовжнє деформування внаслідок великого співвідношення довжини до розмірів поперекового перерізу. Таврові балки завжди одержують після зварювання загальний вигин від пасака у напрямку стінки. У цьому зв'язку доводиться передбачати окрему операцію – їхнє виправлення, що найчастіше виконується на верстатах типу «Бульдозер» за схемою прикладання зосередженої сили на двох опорах. На рис. 4 показано зварювання симетричного тавра на верстаті СТС-2М. Значна вартість ліній та агрегатів такого типу визначає їхнє застосування економічно ефективним лише при виготовленні великої кількості балок.

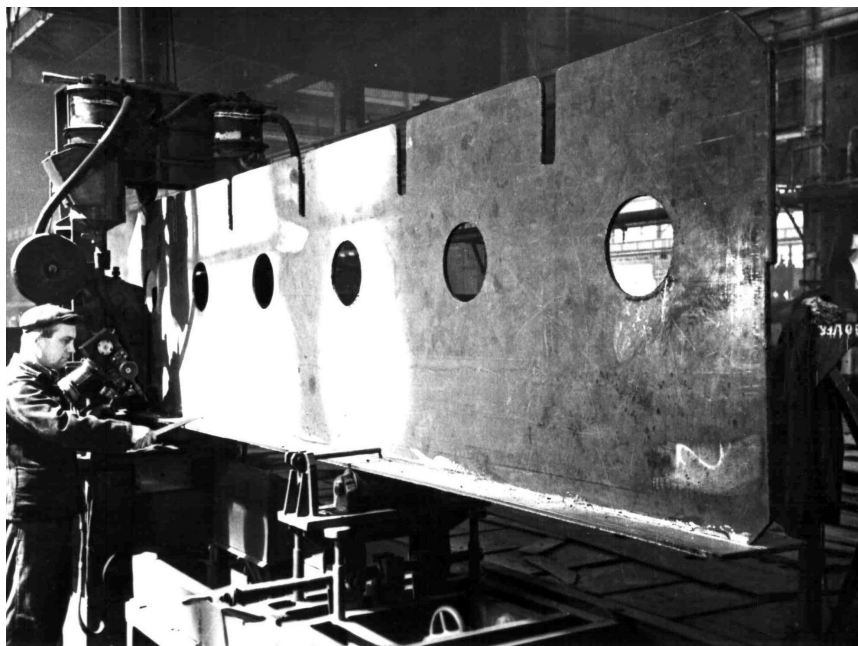


Рис. 4. Зварювання симетричного тавра на верстаті СТС-2М

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Верстат СТС-2М.
2. Дріт зварювальний Св-08А (або ОК Autrod 12.20), флюс АН-348А (або ОК Flux 10.71), планки з низьковуглецевої сталі.
3. Лабораторні ваги, лінійка, секундомір, штангенциркуль, універсальний шаблон зварювальника УШС-3 (або УШС-4).
4. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

4. Порядок проведення роботи

- Вивчити конструкцію верстата.
- Вивчити кінематичну та принципову електричну схеми верстата.
- Виконати зварювання таврового з'єднання на режимах, які надано викладачем. Розрахувати режим кутового зварювання, визначити витрату флюсу та дроту, тип зварного з'єднання Т1, $S = 5$ мм, $K = 3$ мм:

- а) обчислимо силу зварювального струму:

$$I = \frac{h}{K_h} \cdot 100, \text{ А} . \quad (8.1)$$

Приймаємо глибину проплавлення $h = 4$ мм.

Зварювання виконуємо на постійному струмі зворотної полярності, при $d_e = 2$ мм, $K_h = 1,30$;

- б) визначимо необхідний діаметр зварювального дроту:

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{I}{\pi \cdot j}}, \text{ мм} , \quad (8.2)$$

де $j = 65 \div 200$ А/мм²;

- в) визначимо необхідну напругу:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} I \pm 1, \text{ В} ; \quad (8.3)$$

г) необхідна швидкість зварювання розраховується за формулою:

$$V_{\text{св}} = \frac{A}{I}, \text{ м / ч} \quad (8.4)$$

при $d_e = 2 \text{ мм}$, $A = (8 \div 12) \times 103 \text{ А} \cdot \text{м/год}$;

д) швидкість подачі дроту розрахуємо за формулою:

$$V_{m_2} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I}{3600 \cdot \pi d^2 \rho}, \text{ см / с}, \quad (8.5)$$

$$\alpha_{p_2} = 7 + 0,04 \frac{I}{d_e}, \text{ г / А} \cdot \text{ч}; \quad (8.6)$$

е) визначимо витрату флюсу та дроту:

$$F_m = \frac{K^2}{2} \cdot 1,35 \text{ мм}^2, \quad (8.7)$$

$$M = 0,1 F_m \times \rho, \text{ кг/пм}; \quad (8.8)$$

$$Q_\phi = M \times K_T, \text{ кг}; \quad (8.9)$$

де K_T для флюсу – 1,1;

для дроту – 1,03.

- Обрати зварювальні матеріали (флюс і дріт).

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення технології зварювання кутових швів на верстаті СТС-2М.

2. Опис, призначення та технічні характеристики верстата.

3. Результати розв'язання задачі по вибору режимів зварювання.

4. Загальні висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Область застосування автоматичного зварювання під флюсом.
- Переваги та недоліки автоматичного зварювання під флюсом.
- Сутність способу зварювання під флюсом.
- Що таке флюс?
- Які функції виконує флюс при зварюванні?
- Які параметри режиму зварювання під флюсом відносяться до основних? Порядок чисельних значень цих параметрів.
- Як впливає зварювальний струм, напруга дуги та швидкість зварювання на форму шва?
- Дріт яких діаметрів застосовують при зварюванні під флюсом?
- Який рід струму застосовують при зварюванні під флюсом та у яких випадках?
- Як впливає полярність на глибину проплавлення та швидкість плавлення електродного дроту?
- Які види зварних з'єднань та швів виконують при зварюванні під флюсом?
- Як обрати режими зварювання?
- Основні типи автоматів для зварювання під шаром флюсу.
- Двохелектродні автомати для зварювання під шаром флюсу.
- Конструкція та технологічні можливості верстата для зварювання таврів.
- Призначення зварних профілів при будівництві суден.
- Принцип регулювання параметрів процесу зварювання на верстаті для зварювання таврів.
- Порядок роботи верстата.

Робота № 9. Технологія та устаткування виготовлення площинних секцій

1. Мета роботи

1. Ознайомлення з призначенням та технічними даними устаткування для виготовлення площинних секцій.

2. Вивчити сутність і різновиди зварювання при виготовленні площинних секцій.

3. Аналіз впливу технологічних параметрів режиму зварювання на геометричні розміри зварного шва. Вибір режиму зварювання.

2. Загальні відомості

Головними технологічними особливостями дев'яти груп секцій корпусу судна є:

- форма поверхонь, що обмежують секцію – площинна або криволінійна, яка визначає спосіб базування при складанні;

- співвідношення висоти набору та число балок різного напрямку, від яких залежать величина та характер загальних зварювальних деформацій і можливість автоматизації зварювання;

- відношення висоти секції до її довжини і ширини, що також впливає на деформації та на спосіб базування.

Площинними вважаються секції, що складаються з плоского або криволінійного з малим вигином полотнища, в якому висота більшої частини балок набору складає не більше $7 \div 8 \%$ ($1/15$) меншого розміру у плані B , наприклад ширини (рис. 1).

При такій висоті балок можливо механізоване виготовлення секцій на стендах, які оснащено зварювальними порталами. Площинні секції можуть бути: а) з набором одного напрямку; б) з набором двох напрямків. Якщо на секції є два-три перехресні зв'язки, то її можна віднести до секцій з набором одного напрямку навіть у тому випадку, коли

висота зв'язки більше зазначеної, тому що ці зв'язки хоча й ускладнюють механізоване виготовлення секцій, але не виключають його.

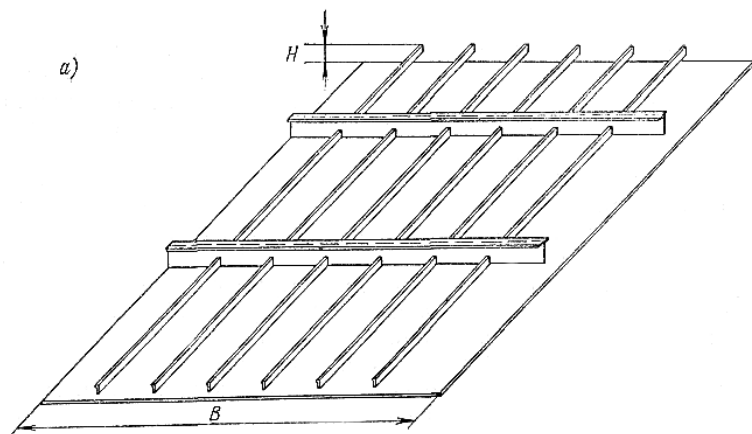


Рис. 1. Суднова площинна секція

Основні допуски на відхилення форми та розмірів вузлів і секцій корпусу судна визначаються галузевими стандартами, що діють у суднобудуванні на перевірочні роботи. При цьому передбачається, що вузли та деталі, що надходять на складання секцій, повинні бути виготовлені, як правило, у чистий розмір. Однак при формуванні блоку або цілого корпусу можуть виникати та нагромаджуватися різні відхилення, що викликають необхідність у роботах з підгонки окремих монтажних ділянок секцій і блоків.

Для компенсації цих відхилень на деяких крайках секцій та блоків, за винятком перших, заставних, залишають припуски. Припуски (величиною від 10 до 30 мм) залишають тільки на тих крайках секцій, що приєднуються до раніше встановлених.

Площинні секції найбільш поширені. На сучасних заводах виробництво їх організовують на механізованих потокових лініях (МПЛ), перші позиції яких призначено для складання

та зварювання полотнищ. На полотнище, що зварене з листів, на наступних позиціях встановлюються елементи набору, приварюються деталі насичення та ін.

Продуктивність лінії, яка встановлена шведською фірмою ЭСАБ на багатьох заводах у різних країнах, при роботі 12-ти чоловік, складає чотири секції у зміну, розміром 12×12 м при товщині листів до 20 мм та 14-ти ребрах жорсткості. Лінія довжиною близько 110 м може мати від шести до восьми позицій. Елементи секції послідовно переміщуються з позиції на позицію за сигналом з пульта керування. Переміщення здійснюється по висувних роликах за допомогою бічного візка, що тягне. Ролики утоплено у стендах ліній, на яких лежить секція. Вони можуть бути підняті одночасно у межах даної позиції за необхідності перемістити секцію.

На позиціях виконуються наступні етапи технологічного процесу:

Нульова позиція. Збереження підготовлених пачок листів.

Позиція I. Розкладання листів за допомогою порталного листоукладчику з магнітними присосами та ручна прихватка їх по стиках.

Позиція II. Зварювання листів у стик, під флюсом або одностороннє зі зворотним формуванням, або двостороннє на флюсовому жолобі, при якому після зварювання необхідне наступне кантування полотнища для підварювання зворотної сторони. Зварювальні головки розташовано на порталах, які встановлюють над віссю шва.

Позиція III. Кантування полотнища, якщо на позиції II не застосовувалось зварювання зі зворотним формуванням шва. Якщо ж таке зварювання застосовувалось, ця позиція відсутня. Для кантування встановлено спеціальний кран з автоматичними захватами.

Позиція IV. Укомплектовано поворотним пристроєм, що розвертає секцію на 90° для встановлення на наступних позиціях балок набору поперек зварних пазів секції.

На цій позиції можна здійснювати повітряно-дугове стругання кореня шва (якщо зварювання виконувалось без зворотного формування).

Розмітка місць встановлення балок набору виконується за світловою лінією, яка спрямована спеціальним проєктором, або за допомогою лазера.

Позиція V (з'єднана з бічним накопичувачем балок набору). На цій позиції встановлюють та приварюють балки набору (ребра жорсткості). Балки зберігаються у накопичувачі та за допомогою ланцюгового транспортеру подаються по одній до пристрою, який їх встановлює.

Пристрій захоплює балку, переміщує її уздовж осі, опускає на лінію, яка розмічена, та щільно притискає до полотнищу. Встановлена балка приварюється трьома зварювальними головками, які розташовані у ряд на порталі. По закінченні зварювання балки звільняються від притискання, полотнище переміщується на визначений крок для встановлення наступної балки, і операція повторюється. Таким чином, відбувається поступове нарощування секції.

Позиція VI. Встановлення та зварювання перехресних зв'язок; операції виконуються вручну із застосуванням зварювальних апаратів для механізованого зварювання.

Позиція VII. Встановлення насичення, проведення контрольних операцій (просвічування, обмірювання та ін.), а також виправлення дефектів зварювання.

Позиція VIII. (встановлена у окремому паралельному прольоті та з'єднана з позицією V). На цій позиції відбувається подавання набору головного напрямку з ділянки його збереження до дробоструминного агрегату зачищення крайок набору, що притискаються до полотнища площинної секції. Укрупнення набору головного напрямку за допомогою машини для стикового контактного зварювання опором (за необхідністю). Накопичення на шлепері та підготовка його до подачі у складально-зварювальний агрегат позиції V.

Кількість операцій та компонування потокової лінії виготовлення секцій у великій мірі визначаються їхньою конструкцією. Зокрема, велику роль відіграє конструктивне оформлення вузла перерізу балок поздовжнього та поперечного набору. У випадку застосування лінії, яка описана вище, передбачалося, що перехресні зв'язки «одягнута» зверху на балки головного напрямку (рис. 2,*а*). Конструкції із збільшеними зазорами між крайкою вирізу та балкою є більш технологічними, у зв'язку з тим, що складання секції полегшується завдяки більшим допускам на розташування балок на полотнищу. Крім того, можливе застосування роздільного методу складання та зварювання площинної секції, при якому спочатку встановлюють та приварюють автоматами до полотнища всі балки головного напрямку, а потім «надягають» перехресні зв'язки та приварюють їх ручним або механізованим зварюванням.

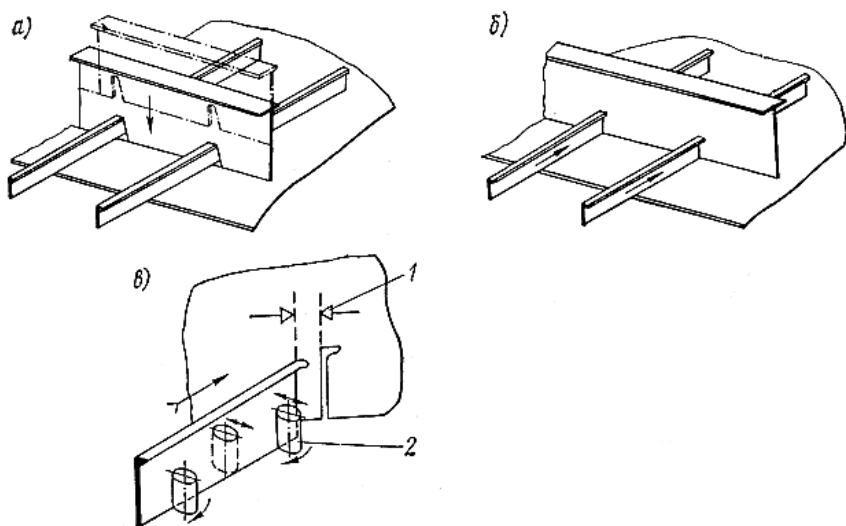


Рис. 2. Переріз поздовжніх та поперечових балок

Зустрічаються конструкції секцій, у яких балки проходять через вирізи у перехресних зв'язках (рис. 2,б). У цьому випадку послідовність складання секції інша: спочатку встановлюють поперекові балки, а потім через вирізи у них по черзі протаскують поздовжні балки. Таке протаскування через кілька вирізів – складна та трудомістка операція. На одній верфі в Японії було розроблено спеціальний пристрій для автоматичного протаскування балок через вирізи при складанні секцій (рис. 2,в).

3. Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом полотнища площинної секції

На практиці доводиться розраховувати режим автоматичного зварювання за швом, який зазначено на кресленні тієї або іншої конструкції. Листи товщиною $2 \div 12$ мм можуть бути зварені у стик дводуговим автоматом на флюсомідній підкладці. Перша дуга веде зварювання на постійному струмі зворотної полярності, а друга – на змінному струмі, тип зварного з'єднання 1.2 за ДСТУ EN ISO 9692-2.

Перша дуга

Розрахунковим методом визначимо $I_{зв}$, U , $V_{зв}$, $V_{пл}$, $d_{ел}$. Для розрахунку визначимо глибину провару з лицьової сторони шва:

$$H = 0,5S + \Delta H, \quad (9.1)$$

де ΔH – величина перекриття першого шва другим, $\Delta H = 1 \div 3$ мм.

Обираємо силу зварювального струму, що забезпечує задану глибину проплавлення:

$$I_{зв} = \frac{H_1}{K_h} \cdot 100, \quad (9.2)$$

де H_1 – необхідна глибина провару, мм;

K_h – коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від умов проведення зварювання.

Для зварювання на постійному струмі зворотної полярності, під флюсом ОСЦ 45 та діаметрі електрода $d_e = 4$ мм, $K_h = 1,15$.

Обираємо діаметр електродного дроту:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \text{ мм} \quad (9.3)$$

де j – припустима щільність струму ($j = 35 \div 60$ А/мм²).

Для прийнятого діаметра електрода та сили зварювального струму визначають оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} I_{зв} \pm 1, \text{ В.} \quad (9.4)$$

При виборі швидкості зварювання можна скористатися формулою:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{св}}, \text{ м / год}, \quad (9.5)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від діаметра електрода;

$$A = (16 \div 20) \cdot 10^3 \text{ А} \cdot \text{м/год.}$$

Швидкість подачі дроту визначаємо за формулою:

$$V_{пд} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{св}}{3600 \cdot \pi d^2 \rho}, \text{ м / год}, \quad (9.6)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення металу;

$$\alpha_p = 7 + 0,04 \frac{I_{зв}}{d_e}, \text{ г / А} \times \text{год.} \quad (9.7)$$

Друга дуга

Зварювання другою дугою здійснюється на змінному струмі, параметри режиму розраховуються як для першої дуги. Швидкість зварювання для другої дуги рівна швидкості зварювання першої.

4. Порядок проведення роботи

1. При ознайомленні з призначенням та технічними характеристиками лінії виготовлення площинних секцій:

- Вивчити конструкцію лінії («Опис та інструкція з обслуговування ЕСАБ» або ін.).

- Вивчити технологію виготовлення площинних секцій на лінії.

- Користуючись методикою розрахунку режимів автоматичного зварювання під флюсом, яка наведена у розділі 3, вирішити наступні задачі:

- розрахувати режим автоматичного дводугового зварювання під флюсом однобічного стикового шва, зі зворотним формуванням, якщо товщина листів $S = 10$ мм;

- для заданої марки сталі, типу зварного з'єднання та товщини деталей, що зварюються, виконати індивідуальне завдання:

- обрати зварювальні матеріали (флюс та дріт);
- обрати варіант підготовки крайок, форми зварного шва, способу зварювання під флюсом;
- обрати оптимальні параметри режиму зварювання.

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні положення технології зварювання під флюсом при виготовленні площинних секцій.

2. Опис, призначення та технічні характеристики лінії виготовлення площинних секцій.

3. Результати рішення задач по вибору режимів зварювання (див. розділ 3).

4. Результати виконання індивідуального завдання.

5. Загальні висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Область застосування автоматичного зварювання під флюсом.
- Переваги та недоліки автоматичного зварювання під флюсом.
 - Сутність способу зварювання під флюсом.
 - Що таке флюс?
 - Які функції виконує флюс при зварюванні?
 - Які параметри режиму зварювання під флюсом відносяться до основних? Порядок чисельних значень цих параметрів.
- Як впливає зварювальний струм, напруга дуги та швидкість зварювання на геометрію форми шва?
- Дріт яких діаметрів застосовують при зварюванні під флюсом?
- Який рід струму застосовують при зварюванні під флюсом та у яких випадках?
- Як впливає полярність на глибину проплавлення та швидкість плавлення електродного дроту?
- Які види зварних з'єднань та швів використовують при зварюванні під флюсом?
- Конструкція та технологічні можливості лінії виготовлення площинних секцій.

Робота № 10. Технологія та устаткування приварки шпильок

1. Мета роботи

1.1. Вивчити конструкцію та принцип роботи пістолета для приварювання шпильок;

1.2. Ознайомлення із різними методами приварювання шпильок та набуття практичних навичок при приварюванні шпильок.

2. Загальні відомості

Операції встановлення та приварювання шпильок для кріплення ізоляції, різного роду устаткування та декоративних деталей у судно-, машино-, котлобудуванні та виробництві побутової техніки складають значний обсяг складально-зварювальних робіт. Особливо великий об'єм приварювання шпильок для кріплення ізоляції у суднобудуванні та котлобудуванні. Кількість шпильок, які встановлюють на одне судно, знаходиться у межах $50 \div 500$ тисяч штук. Очевидно, що механізація цих операцій має актуальне значення.

У даний час відомо декілька способів приварювання шпильок: дуговий, ударно-конденсаторний та контактний.

Найбільше поширення набули дугові способи проварювання шпильок із застосуванням для захисту дуги насипного флюсу, спеціальних керамічних кілець, флюсів та захисних газів.

Електродугове приварювання шпильок

Механізоване приварювання шпильок здійснюється за допомогою ручних пристроїв, які називають пістолетами. Пістолети побудовані в основному за принципом автоматичного збудження дуги за допомогою електромагніту, що забезпечує відрив кінця шпильки від виробу при ввімкненому зварювальному струмі та зануренні за допомогою пружини кінця шпильки у ванну з розплавленого металу виробу з подальшим виключенням зварювального струму.

Зварювання здійснюється із захистом дугового простору та розплавленого металу із застосуванням насипного флюсу, спеціальних флюсових або керамічних кілець, а також захисних газів.

Дугове приварювання шпильок виконується постійним або змінним струмом від джерела живлення із спадною зовнішньою характеристикою. Особливістю дугового процесу приварювання шпильок є розділення часу протікання зварювального струму на дві стадії – тривалість протікання струму при короткому замиканні та тривалість горіння дуги. Струм короткого замикання підігріває метал виробу та кінця шпильки, що сприяє стабільному запаленню дуги та зменшує вірогідність «примержання» шпильки.

Принципова схема установки для дугового приварювання шпильок показана на рис. 1.

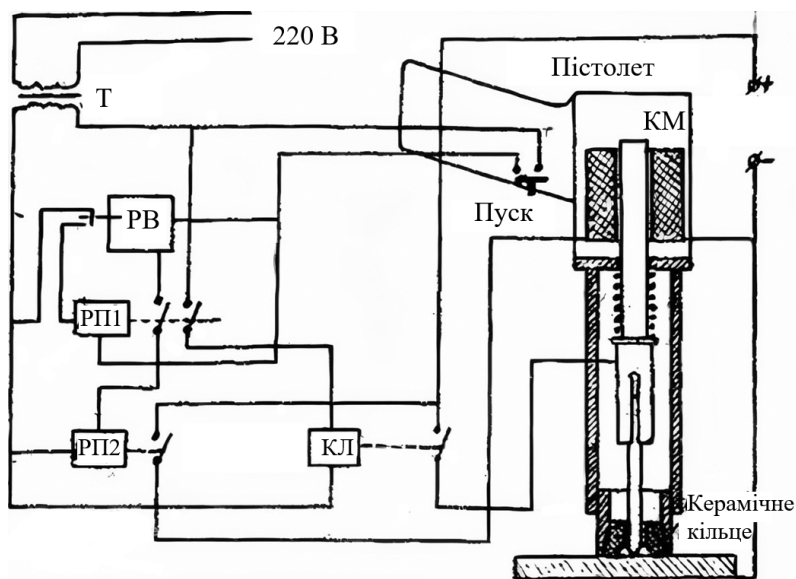


Рис. 1. Принципова схема установки для дугового приварювання шпильок

Приварювання шпильки здійснюється таким чином. Закріплена у цанзі пістолета шпилька виступає над опорною поверхнею пістолета на $5 \div 10$ мм. Захисне керамічне або флюсове кільце укладають у обойму пістолета на кінець шпильки. Пістолет підводять до місця установки шпильки та опирають його об поверхню. При натиску на пістолет шпилька прослизає у цанзі до поверхні виробу. При цьому відбувається часткове стиснення пружини осадження.

Натисненням на кнопку «Пуск» вмикається електрична схема керування процесом приварювання шпильки. Електрична схема працює таким чином: при натисненні кнопки «Пуск» вмикається проміжне реле РП1, яке своїми контактами вмикає реле часу РВ, реле РП2 та лінійний контактор КЛ. Вмиканням контактора КЛ зварювальна напруга подається на шпильку, яка замкнута накоротко з виробом.

При спрацьовуванні реле РП2 подає зварювальну напругу на котушку електромагніту КМ. Магнітний потік котушки втягує у котушку осердя, на кінці якого у цанзі кріпиться шпилька. Шпилька відривається від поверхні виробу на величину дугового проміжку, що заданий. Запалюється дуга, яка закрита керамічним або флюсовим кільцем. Час горіння дуги регулює реле часу РВ. Після закінчення заданого часу, контакти реле часу, які ввімкнуті послідовно з обмоткою РП1, розмикаються та вимикають реле. Після його відключення знеструмлюється котушка електромагніту та відключається зварювальний струм. Шпилька під дією зворотної пружини пістолета занурюється у ванну розплавленого металу та частково його витісняє. Зварне з'єднання утворюється шляхом сплаву торця шпильки з поверхнею виробу, при цьому утворюється валик заввишки $1 \div 3$ мм. Схема процесу показана на рис. 2.

Електромеханічна частина схеми повинна бути відрегульована так, щоб спочатку вмикався зварювальний струм, а потім електромагніт. Проміжок часу між включенням

зварювального струму та спрацьовуванням електромагніту повинен бути мінімально можливим. Значне випередження вмикання зварювального струму, порівняно із електромагнітом, викликає «примержання» шпильок, іноді обгорання кінця шпильки, а також порушує стійкість роботи установки.

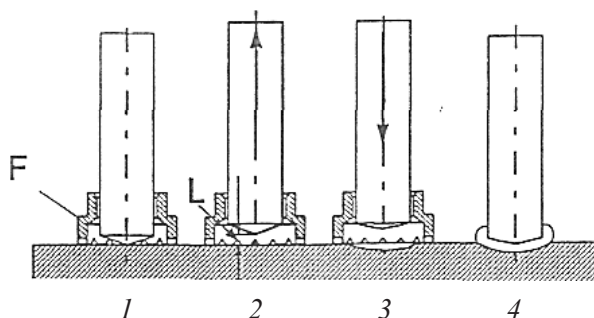


Рис. 2. Схема процесу приварювання шпильок:

1 – початкове положення; 2 – вмикання струму короткого замикання;
3 – відрив шпильки, збудження та горіння дуги; 4 – осадження шпильки,
формування зварного з'єднання

У деяких найдосконаліших установках для приварювання шпильок час протікання струму короткого замикання також регулюється за допомогою окремого реле часу, яке ввімкнено у коло електромагніту пістолета.

Для різних діаметрів шпильок передбачаються змінні цанги, які нагвинчують на нарізну частину осердя. Цанги пістолета виготовляють із латуні Л62 та вони мають чотири поздовжні розрізи у місці затискання шпильки. Для збереження надійного контакту цанги та шпильки під час експлуатації на розрізний кінець цанги одягають металеве кільце, яке пружинить.

Конденсаторне приварювання шпильок

За допомогою конденсаторного зварювання можна приварювати шпильки та штифти діаметром до 6,5 мм до листів

завтовшки 0,3 мм і більше. З метою надійного збудження дуги на шпильках методом холодної висадки отримують виступ, діаметр та довжина якого залежать від діаметра та матеріалу шпильки, та бурт для забезпечення надійної фіксації шпильки. Переріз виступу повинен бути малим для практично миттєвого розплавлення металу при проходженні струму розряду конденсатора. Зварювання можна виконувати двома способами: з контактом з деталлю та із встановленням попереднього зазору.

За першим способом шпилька притискається до поверхні деталі пружиною. Зварювання починається із вибухового випаровування виступу внаслідок дії високої густини струму розряду конденсаторної батареї. Завдяки високій температурі пари, проміжок між шпилькою та деталлю іонізується та збуджується дуга, що горить у парах металів, що зварюються. Довжина дуги та тривалість горіння залежать від розмірів виступу.

Протягом декількох мілісекунд торець шпильки та розташована під ним поверхня оплаваються. Під дією пружини шпилька наближається до деталі, дуговий проміжок поступово зменшується та при зануренні шпильки у ванну дуга згасає. Після повної розрядки конденсаторної батареї та затвердіння розплавленого металу зварювання закінчується.

При другому способі шпилька за допомогою спеціального механізму, що вбудований у зварювальний пістолет або у головку, встановлюється на заданій відстані від поверхні деталі. Під дією механізму шпилька переміщується до поверхні та ударяється об неї. У цей момент починається розряд батареї конденсаторів та відбуваються ті ж процеси при зварюванні, що і у попередньому випадку.

Останній спосіб набув більше поширення, що пояснюється стабільністю якості зварювання та відносною простою устаткування: при цьому способі комутація розрядного ланцюга відбувається без дії струму.

Контактне приварювання шпильок

Контактне приварювання шпильок засноване на розігріванні торця шпильки та деталі у місці їх контакту до пластичного стану. У цьому випадку зварювання виконується шляхом додавання зусилля стиску. Контактне приварювання шпильок обмежене діаметром шпильок та вимагає значного зусилля стискання, що при ручному способі значно ускладнює працю зварника. Необхідно також застосовувати додаткові операції зачищення контактної поверхні та надання сферичної форми кінцям шпильки. Крім того, водяне охолодження, яке необхідне при контактному зварюванні, обмежує радіус дії установки. У цьому зв'язку, контактне приварювання шпильок можливе лише у стаціонарних умовах на спеціальному обладнанні.

Установка для приварювання шпильок складається з шафи управління, пістолета із комплектом кабелів завдовжки 60 м, силового кабелю та зворотного зварювального кабелю. Шафа управління є металевою конструкцією із випрямлячем.

Пістолет (рис. 3) призначено для утримання шпильки під час приварювання, а також виконання операцій: відриву шпильки від виробу на дуговий проміжок та опускання шпильки у зварювальну ванну на задану глибину.

Пістолет є механізованим апаратом із електромагнітним приводом відриву шпильки, що має незалежну обмотку збудження.

Автоматичне розділення зварювальних зазорів виконується при установці пістолета зі шпилькою на деталь. Пістолет складається із корпусу 11 та рукоятки 4, у яких змонтовано вузли та деталі.

У рукоятці встановлені пускова кнопка 22, електромагніт 6 для відриву шпильки та утримуючий електромагніт 3 з якорем 2, який сполучено за допомогою різьблення із штовхачем 5, який має поворотну пружину 1. Штовхач 5 фіксується стрижнем 24.

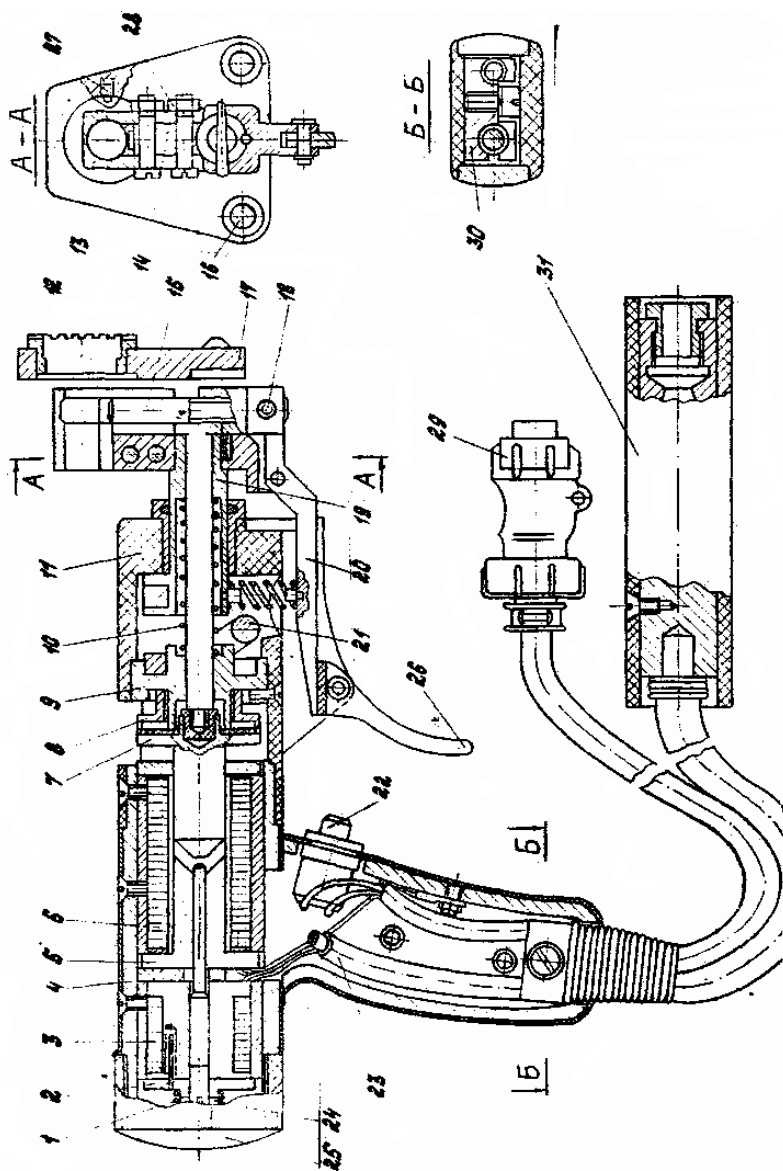


Рис. 3. Пістолет для дугового приварювання шпильок

У корпусі 11 змонтована рухома система, що складається із якоря 7, який жорстко пов'язано із корпусом захвату 14 та підпружинено у напрямку деталі, до якої приварюється шпилька, пружиною осадження 10. У корпусі встановлено спіральний струмопідвід 21, який передає струм від нерухомого кабелю 23 до рухомого корпусу захвата 14.

Захват для утримання та центрування шпильки складається зі змінної губки 13 та притискного регульованого стрижня 15, який встановлено на рухомому важелі 20. Регулювання зусилля затискання шпильки здійснюється вгвинчуванням або вигвинчуванням стрижня 15 із важеля 20. Після установки стрижень 15 стопориться гвинтами 18, 27 та гайками 28. У корпусі встановлено колонки 16, на яких закріплено пристосування 17 із змінною втулкою 12 для розміщення та утримання захисного керамічного або флюсового кільця.

Зварювальний струм до шпильки підводиться через роз'єм 31 по кабелю 23 до нерухомої втулки 9, потім по спіральному струмопідводу 21 до рухомої втулки 19 корпусу захвата. Роз'єм 29 призначено для приєднання пістолета до ланцюга управління установи.

Кріплення зварювального кабелю та кабелю управління у пістолеті здійснюється за допомогою затиску 30, який розташовано у рукоятці 4.

Задані величини дугового проміжку осадження встановлюються при знятій кришці 25. Виміри виконуються стандартним щупом при підведеному якорі 7 до торця штовхача 5. Спочатку регулюється дуговий проміжок, потім величина осадження.

Дуговий проміжок встановлюється вгвинчуванням або вигвинчуванням штовхача 5 із якоря 2. Величина дугового проміжку дорівнює зазору між торцем електромагніту 6 та торцем якоря 7.

Регулювання величини осадження здійснюється обертанням гайки 8 у відповідну сторону. Величина осадження дорівнює зазору між торцем гайки 8 та торцем якоря 7.

При вмиканні пістолета на обмотці електромагніту 3 генерується струм утримання.

При натисканні на курок 26 переміщується важіль 20, який розводить затискні елементи захвату. Шпилька укріплюється так, щоб її кінець виступав за опорну площину пістолета на $5 \div 15$ мм.

Після встановлення пістолета зі шпилькою опорною площиною на деталь, стискається пружина осадження 10 до тих пір, доки якір 7 не зупиниться біля торцю штовхачу 5. Після цього шпилька ковзає у захваті до збігу торцю шпильки із базовою поверхнею втулки 12.

При короткотривалому натисканні на пускову кнопку 22, електромагніт 3 вимикається і на шпильку подається струм короткого замикання. Після закінчення часу затримки, вмикається електромагніт 6 і якір 7 притягується, шпилька відривається від деталі на величину дугового проміжку та спалахує зварювальна дуга.

Після закінчення заданого часу зварювання котушка електромагніту 6 знеструмлюється, а на електромагніт 3 подається струм. Шпилька під зусиллям штовхачу 5 та пружини осадження 10 підходить до зварювальної ванни. Коли якір 2 притягується до осердя електромагніту, під впливом пружини осадження 10 шпилька занурюється у зварювальну ванну на задану глибину та зупиняється. У цей момент вимикається зварювальний струм. На цьому процес приварювання шпильки закінчується.

При приварюванні шпильок на вертикальній та стельовій поверхнях для захисту дугового простору застосовують спеціальні флюсові або керамічні кільця (рис. 4), розміри яких залежать від діаметра самої шпильки. Для шпильки діаметром

5 мм розміри захисного флюсового кільця відповідно складають: $D - 6$ мм; $D_1 - 18$ мм; $D_2 - 16$ мм; $B - 8$ мм.

Флюсові кільця прості у виготовленні, тому їх виробництво може бути організоване на будь-якому підприємстві. Проте вони мають ряд істотних недоліків, основним з яких є одноразове їх застосування. Крім того, висока гігроскопічність і мала механічна міцність вимагають розробки нових захисних засобів для дуги при приварюванні шпильок.

Керамічні кільця (див. рис. 4) за своєю конструкцією близькі до флюсових. Виготовляються із спеціальної кераміки, що дає можливість механізувати їх виготовлення з високою продуктивністю.

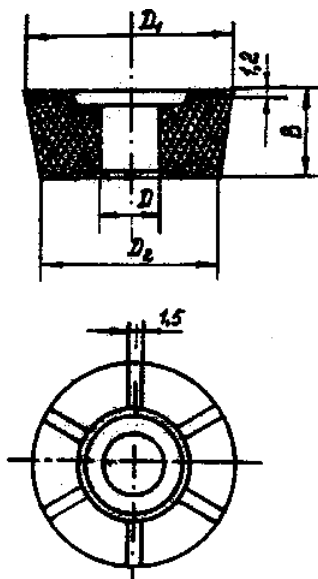


Рис. 4. Керамічне кільце для приварювання шпильок

Керамічні кільця тримають високу температуру та мають механічну міцність, що надає їм дуже важливу

властивість – можливість багатократного використання. Крім того, мала гігроскопічність не вимагає додаткового прожарювання кільця перед зварюванням.

Технологічні процеси приварювання шпильок із застосуванням керамічних і флюсових кілець мало відрізняються один від одного. У процесі приварювання однієї шпильки кільце флюсу розплавляється на $40 \div 50 \%$, частина, яка залишається після зварювання, руйнується при знятті пістолета із привареної шпильки. Таким чином, кільце флюсу є одноразового використання. Керамічне ж кільце при одному циклі зварювання розплавляється не значно та не руйнується. Розплавлена частина утворює тонкий шар шлаку, достатній для захисту зварного з'єднання. Таке кільце витрачається за $50 \div 70$ циклів, що забезпечує суттєву економію.

Технологія та техніка зварювання із застосуванням керамічних та флюсових кілець однакові. Механічні властивості зварних з'єднань в обох випадках задовільні. Зварювальне устаткування не вимагає додаткових переробок (окрім обойми пістолета) під розмір керамічного кільця. Режимми зварювання аналогічні.

Як захисний засіб при приварюванні шпильок можуть бути використані і захисні гази: CO_2 для приварювання шпильок із низьковуглецевих сталей та аргон для приварювання шпильок із кольорових металів та високолегованих сталей. При приварюванні шпильок із низьковуглецевих та низьколегованих сталей для отримання високоякісних зварних з'єднань потрібне застосування шпильок із сталей, які додатково леговані марганцем та манганом, типу Св-08Г2С або Св-08ГС (як і при механізованому дуговому зварюванні). У цьому зв'язку, приварювання шпильок із цих сталей у середовищі CO_2 не знайшло широкого застосування.

Для приварювання шпильок у середовищі захисних газів використовується те ж устаткування, що і при зварюванні із застосуванням захисних кілець. При цьому обойма пістолета

для встановлення захисних кілець замінюється на сопло для подачі захисного газу, а установка доповнюється відповідною газовою апаратурою та шлангами для подачі газу.

Конструкція шпильок та штифтів залежить від їх призначення. У судно- та котлобудуванні це в основному вузли кріплення ізоляції. Конструкція шпильок залежить від способу закріплення на них ізоляційних матеріалів. Найчастіше це циліндрові стрижні діаметром $3 \div 8$ мм з гладкою або накатаною поверхнею. Установка та приварювання шпильок виконуються у процесі складання корпусу судна на стапелі. Поверхні корпусу судна, до яких приварюються шпильки, зазвичай покрито захисним ґрунтом, що забезпечує їх захист від корозії на міжопераційний період виготовлення металоконструкцій.

Наявність тонкого шару ґрунту (до 20 мкм) не надає шкідливої дії на якість зварних з'єднань при дугових процесах зварювання. Проте, при приварюванні шпильок ускладнює запалення дуги. Для кращого контакту та полегшення збудження дуги, необхідно у момент короткого замикання одержати найбільшу густину струму в контакті між кінцем шпильки та поверхнею листу. Це призводить до необхідності виконувати торець шпильки загостреним, у вигляді конусу або чотиригранної призми під кутом 90° . Висота загостреного кінця $1,5 \div 2,0$ мм. Шпильки виготовляються з дроту.

Шпильки діаметром $3 \div 6$ мм для кріплення ізоляції у суднобудуванні виготовляються звичайно шляхом нарубки із зварювального дроту марки Св-08 відповідного діаметру, тому операцію підготовки кінця та нарубки шпильок виконують одночасно. Ця операція виконується за допомогою спеціального рубочного штампу, в якому кінець шпильки формується у вигляді чотиригранної призми, подібно вістрю гвіздка Досвід показав, що якісне зварне з'єднання при малих діаметрах шпильок ($3 \div 6$ мм) можна отримувати також при простому зрізі шпильки під кутом 45° .

Виготовлення шпильок включає наступні операції: правку та очищення дроту або прутка; нарізку на заготівки комбінованими прес-ножицями, довжина яких дорівнює двом шпилькам; рубку заготівок на дві шпильки з одночасним загостренням кінців на спеціальному штампі. Задири, що утворюються при рубці, знімаються у галтовочному барабані. Готові шпильки упаковуються та зберігаються у сухому приміщенні.

3. Технологія приварювання шпильок

При підготовці до зварювання за діаметром шпильки обирається необхідний розмір керамічного або флюсового кільця. Внутрішній діаметр кільця повинен бути на 1 мм більше діаметра шпильки. При приварюванні шпильок з накатаною поверхнею, для легшого знімання пістолета зі шпильки після зварювання, внутрішній діаметр керамічного кільця рекомендується підбирати збільшеним до 1,5 мм. У цангу пістолета встановлюється шпилька, в обойму – захисне кільце. Рухомий упор пістолета обирається залежно від довжини шпильки з таким розрахунком, щоб її кінець виступав над поверхнею кільця на $10 \div 15$ мм.

Основними параметрами режиму приварювання шпильок є: величина зварювального струму, час горіння дуги, величина зварювального зазору та осадження. Ці параметри обираються залежно від діаметра шпильки та від просторового положення зварювання.

4. Порядок проведення роботи

1. Вивчити сутність та різновиди приварювання шпильок на суднові конструкції.
2. Вивчити конструкцію, принцип дії установок NS 20G фірми NELSON для дугового приварювання шпильок. Основні вузли установки та призначення.
3. Випробувати роботу установки на холостому ходу.

4. Вибрати основні параметри режиму дугового приварювання шпильок з паспорта установки. При необхідності виконується регулювання установки для одержання необхідних параметрів режиму.

5. Провести зварювання дослідних зразків шпильками різних діаметрів.

5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Марку установки, її основні технічні характеристики.
3. Пояснити вплив різних методів приварювання шпильок на якість зварного з'єднання.
4. Аналіз отриманих результатів та висновки по роботі.

6. Контрольні питання

- Призначення шпильок при будівництві судна.
- Загальна характеристика процесу приварювання шпильок.
 - Різновиди приварювання шпильок.
 - Основні вузли установки для приварювання шпильок та їхнє призначення.
 - Види захисту при приварюванні шпильок.
 - Параметри режиму зварювання. Що таке «короткий» цикл?

Робота № 11. Технологія дугового зварювання чавуну

1. Мета роботи

1.1. Вивчити вплив марки електродів і підігріву на форму та розміри валика, якість і твердість металу наплавлення та навколошовної зони.

1.2. Вивчити вплив підігріву на зварювання чавуну електродом ОМЧ-1.

1.3. Ознайомитися з механізованим зварюванням чавуну порошковим дротом.

2. Загальні відомості

Чавунами називають сплави вуглецю із залізом з вмістом вуглецю понад 2 %. Дякуючи хорошим ливарним властивостям та порівняно невисокій вартості, вони знаходять широке застосування у машинобудуванні. Залежно від стану вуглецю та швидкості охолодження чавун поділяють на білий та сірий. Легуючі домішки за їх впливом на цементит ділять на дві групи: графітизуючі (Al, Si, C, Cu, Ni, Mn, P) та карбідоутворюючі (W, Cr, S, Mo) елементи.

Твердість є важливою характеристикою чавуну; вона залежить від структури, легуючих домішок та розміру графітних включень. Найменшу твердість мають феритні чавуни, у яких майже весь вуглець знаходиться у вільному стані, перлітний чавун з пластинчастим графітом має твердість 220 ÷ 240 НВ, чавун з мартенситною металевою основою має 400 ÷ 500 НВ, а структура цементиту 750 НВ. Найбільше застосування отримали сірі чавуни.

Зварювання чавуну застосовують для виправлення дефектів у деталях лиття, або ремонту. Структура чавуну, його фізичні, хімічні та механічні властивості залежать від складу металу та форми деталі. Зварювання чавуну вимагає специфічного підходу: здійснення зварювання так, щоб не було викривлення та втрати основних осьових та геометричних

розмірів деталей; отримання зварного з'єднання, яке має міцність на рівні з основним металом; отримання металу зварного з'єднання, що піддається обробці механічним шляхом.

Основні складнощі зварювання чавуну:

а) відсутність пластичності та крихкості чавуну призводять до появи тріщин при напруженнях, які досягають межі міцності чавуну (такі напруження можуть з'явитися при зварюванні у результаті нерівномірного нагріву та охолодження);

б) схильність чавуну до відбілювання при швидкому охолодженні може призводити до утворення тонкого прошарку на межі зварного шва та основного металу. Ця зона має значну крихкість та твердість. Зазвичай у ній і відбувається руйнування зварного з'єднання;

в) відсутність пластичного стану при нагріванні чавуну (чавун при нагріві відразу з твердого стану переходить у рідкий) ускладнює процес зварювання при похилому та вертикальному положеннях;

г) велика кількість видів чавунів за хімічним складом та структурою.

Зварювання чавуну здійснюється наступними способами:

гаряче зварювання виконується з попереднім підігрівом всієї деталі до температури $650 \div 700^{\circ}\text{C}$;

напівгаряче зварювання виконується з попереднім підігрівом усієї деталі або його частини до температури $350 \div 500^{\circ}\text{C}$;

холодне зварювання виконується без попереднього підігріву деталі.

Вибір того або іншого способу зварювання залежить від конфігурації та умов експлуатації деталі, складу та структури чавуну та ін.

Гаряче зварювання – це спосіб, при якому здійснюються попередній та супутній підігрів деталі до $600 \div 700^{\circ}\text{C}$ з подальшим повільним охолодженням. Такий процес зменшує швидкість охолодження металу зварювальної ванни та навколошовної зони, що забезпечує повну графітизацію металу шва

та відсутність відбілювання у навколошовній зоні, а також виключає можливість появи зварювальних напружень.

Холодне зварювання – це зварювання без попереднього підігріву деталі. Цей спосіб вимагає менших витрат, при цьому є можливість варіювати у великих межах хімічним складом металу шва. Однак, при накладенні валиків на холодну поверхню чавуну, внаслідок швидкого відведення тепла, метал шва набуває твердість та крихкість. У навколошовній зоні, на першій ділянці неповного розплавлення, яка обмежена температурами $1150 \div 1250^{\circ}\text{C}$, при великій швидкості охолодження утворюється білий чавун, а на другій ділянці, де при нагріві від наплавлення утворюється аустеніт, велика швидкість охолодження та хімічний склад чавуну призводять до його переохолодження із утворенням твердої та крихкої структури мартенситу.

Зменшення схильності до відбілювання першої ділянки навколошовної зони при зварюванні чавуну може бути досягнуте введенням у метал шва таких графітізаторів, як Cu та Ni , тобто відповідною зміною хімічного складу металу шва. Виключити або зменшити вірогідність утворення мартенситу на другій ділянці навколошовної зони можна зниженням швидкості охолодження, що досягається збільшенням погонної енергії зварювання або підігрівом виробу.

Існує багато методів холодного зварювання чавуну. Розглянемо деякі з них. *Зварювання чавуну сталевими електродами* – це найдоступніший метод зварювання. При зварюванні сталевими електродами із звичними покриттями, унаслідок проплавлення чавуну на деяку глибину, у металі шва значно зростає вміст вуглецю. Швидке охолодження металу шва, що має місце при холодному зварюванні чавуну, призводить до підвищення твердості (гарту) шва та відбілювання навколошовної зони. Зварювання чавуну сталевими електродами з карбідоутворюючими елементами у покритті призводить до того, що вуглець, потрапляючи у шов із основного металу,

зв'язується у важко розчинні високодисперсні карбіди (ванадію), які містяться у електродному покритті, що утворює феритну структуру шва із включеннями високодисперсних карбідів. Так, електроди марки ЦЧ-4, у покриття яких вводять 70 % ферованадію, забезпечують наплавлений метал із вмістом ванадію $9 \div 10$ %. При зварюванні чавуну електродами із низьковуглецевої сталі, для поліпшення якості зварного з'єднання рекомендується застосовувати електроди малого діаметра та знижену силу зварювального струму, що зменшує теплову дію на чавун. Зварювання необхідно виконувати короткими ділянками, у розкид (по найхолоднішому місцю) з перервами, щоб температура деталі поблизу місця зварювання не перевищувала $50 \div 60$ °С, валиками малого перерізу.

Зварювання комбінованими мідно-сталевими електродами. У виробництві широке застосування знайшли різні варіанти комбінованих мідно-сталевих електродів, зокрема мідний стрижень із товстим покриттям, що містить залізний порошок (електроди марки ОЗЧ-1) та пучок із мідних і сталевих електродів. Зварювання такими електродами дає більш задовільні результати порівняно із зварюванням електродами з низьковуглецевої сталі. Пучок електродів звичайно збирають з одного електроду типу Е-42 та двох прутків міді. Відбілювання навколошовної зони при зварюванні цими електродами зменшується за рахунок підвищеного вмісту міді у зварювальній ванні, яка є графітизатором, але повністю не усувається.

Зварювання електродами із нікелевих сплавів виконується короткими валиками ($30 \div 50$ мм) із проковуванням їх у гарячому стані для усунення напружень усадки металу. Наявність у зварювальній ванні елементів-графітизаторів (монель-метал, який містить $60 \div 70$ % Ni та $25 \div 30$ % Cu) зменшує відбілювання навколошовної зони. Зварювання слід виконувати при невеликій силі струму зворотної полярності валиками малих перерізів.

Зварювання чавуну порошковим дротом – це механізований спосіб, що дозволяє не тільки підвищити продуктивність праці, але і полегшити умови праці, особливо при гарячому зварюванні чавуну. У даний час застосовують три типи порошкових дрітків: ППЧ-1 для холодного зварювання сірого чавуну; ППЧ-2 для зварювання сірого чавуну з підігрівом; ППЧ-3 для гарячого зварювання сірого чавуну. Зварювання порошковим дротом можна виконувати на напівавтоматах дротом діаметром 3 мм.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Джерело живлення постійного струму – зварювальний випрямляч КИГ-401 (або КИУ-501).
2. Електроди УОНИ 13/55, ОЗЧ-1 або подібні.
3. Лінійка, секундомір, штангенциркуль, планки з сірого чавуну.
4. Амперметр, вольтметр (або осцилограф).

3. Порядок виконання роботи

1. Зачистити місце обробки до металевих блисків на відстані 30 мм від кромки.

Холодне зварювання сірого або ковкого чавуну сталевими електродами виконувати на постійному струмі. Сила зварювального струму 30 А на 1 мм діаметра електрода. Зварювання виконують короткими швами довжиною $20 \div 30$ мм. Після виконання кожного шва їх поверхню проковують легкими ударами молотка. Зварювання продовжують після охолодження місця зварювання до температури не більш 60°C .

Для заповнення обробки накладати валики невеликого перерізу у розкид та з перервами для охолодження.

Холодне зварювання мідно-залізними електродами виконувати на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму – 40 А на 1 мм діаметра електрода.

2. Для гарячого зварювання підігріти деталі у печі до $650 \div 700^{\circ}\text{C}$. Зварювання виконувати чавунними електродами швидко, за можливістю без перерв, на постійному струмі зворотної полярності. Сила зварювального струму – 50 А на 1 мм діаметра електрода. Після зварювання деталь укрити листами азбесту для повільного охолодження. Після охолодження на всіх деталях зачистити поверхню та оглянути неозброєним оком або через лупу ($\times 10$). З метою виявлення тріщин виконати обмір валика. Умови зварювання та результати огляду швів занести у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати замірів при зварюванні чавуну

Тип електрода, марка та діаметр, мм	Зварювальний струм, А	Рід зварювального струму	Температура попереднього підігріву, $^{\circ}\text{C}$	Зовнішній вигляд

3. Після зварювання усіх деталей турбінкою видалити шов на довжині $20 \div 30$ мм, заглибившись в основний метал на $1 \div 1,5$ мм на ширині 20 мм від лінії сплавлення.

Виміряти твердість поперекового перерізу шва з кроком $1,5 \div 2,0$ мм. За одержаними даними побудувати графік залежності твердості від відстані.

4. Зробити висновок про вплив типу електродів та підігріву на якість зварного шва.

4. Зміст звіту

1. Методика виконання досліджень.
2. Графіки твердості наплавленого металу та зони сплавлення залежно від марки електродів та умов зварювання.
3. Висновки по роботі.

5. Контрольні питання

1. Чавун та його різновиди.
2. Основні складнощі зварювання чавуну.
3. Чому для зварювання чавуну часто застосовують електроди, які містять Ni та Cu?
4. Основні технологічні особливості холодного зварювання чавуну.
5. Особливості та переваги зварювання чавуну порошковим дротом.
6. Операції, які становлять процес гарячого зварювання чавуну.
7. Від чого утворюються тріщини при зварюванні чавуну?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Технология электрической сварки плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.
2. Акулов А. И. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.
3. Сварка. Введение в специальность / В. А. Фролов, В. В. Пешков, А. Б. Коломенский, В. А. Казаков. – М. : Интернет Инжиниринг, 2004. – 296 с.
4. Голобородько Ж. Г. Автоматическая дуговая сварка в судостроении. – Херсон : ООО «ПКФ «Стар» ЛТД», 2011. – 233 с.
5. Голобородько Ж. Г. Основи технології дугового зварювання суднових конструкцій : навч. посіб. / Ж. Г. Голобородько, С. В. Драган, В. В. Квасницький. – Миколаїв : НУК, 2013. – 380 с.
6. Костін О. М. Зварювальні матеріали : навчальний посібник. – Миколаїв : НУК, 2004. – 225 с.
7. Драган С. В. Технологія зварювання суднових корпусних конструкцій (проектування і організація) : навчальний посібник / С. В. Драган, Ж. Г. Голобородько, І. В. Сімутенков. – Миколаїв : НУК, 2017. – 328 с.
8. Оборудование для дуговой сварки : справочное пособие / под ред. В. В. Смирнова. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
9. Технология и оборудование сварки плавлением / под ред. А. И. Акулова. – М. : Машиностроение, 2003. – 501 с.

10. Шебеко Л. П. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. – М. : Высшая школа, 1986. – 279 с.
11. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов. – Киев : Наукова думка, 1981. – 608 с.
12. Воинов С. В. Автоматическая вертикальная сварка. – Л. : Судостроение, 1982. – 235 с.
13. Гудзь Б. В. Электродуговая приварка шпилек. – Николаев : НКИ, 1979. – 28 с.
14. Голобородько Ж. Г. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Зварювання плавленням» / Ж. Г. Голобородько, Л. П. Кравченко. – Херсон : ХФ НУК ім. адм. Макарова, 2009. – 117 с.

Навчальне видання

ГОЛОБОРОДЬКО Жорж Гаврилович
КОСТІН Олександр Михайлович
БУТУРЛЯ Євген Андрійович

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

з дисципліни
**«Технологія та устаткування зварювання плавленням
та зварювальні матеріали»**

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 9,77. Вид. № 32. Зам. № 0611-49.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.