

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра експлуатації та ремонту машин

*Матеріали для зварювання, напилювання та
наплавлення*

**Методичні вказівки до виконання практичних
занять з курсу**

для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство”,
освітнього ступеню *бакалавр*

Кропивницький, ЦНТУ 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра експлуатації та ремонту машин

*Матеріали для зварювання, напильовання та
наплавлення*

**Методичні вказівки до виконання практичних
занять з курсу**

для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство”,
освітнього рівня *бакалавр*

Затверджено на засіданні
кафедри експлуатації та ремонту машин
протокол № 9 від 11.03.2020 р.

Кропивницький, ЦНТУ 2020

Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу „Матеріали для зварювання, напилювання та наплавлення” для студентів спеціальності «Матеріалознавство». Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 80 с.

Укладачі: Красота Михайло Віталійович
Кулешков Юрій Володимирович
Мезенцева Оксана Миколаївна
Руденко Тимофій Вікторович
Осін Руслан Анатолійович

Загальна редакція – проф. Ю.В. Кулешков
Комп’ютерний набір і верстка М.В. Красота, О.М. Мезенцева

© Матеріали для зварювання, напилювання та наплавлення /Укл. Красота М.В., Кулешков Ю.В., Мезенцева О.М., Руденко Т.В., Осін Р.А., 2020.

© РВЛ.ЦНТУ. Комп’ютерна верстка, 2020

Зміст

Практичне заняття №1

Вибір матеріалів та призначення режимів ручного дугового зварювання	5
--	---

Практичне заняття №2

Вибір матеріалів та розрахунок режимів зварювання в середовищі вуглекислого газу	17
---	----

Практичне заняття №3

Вибір матеріалів та режимів зварювання під шаром флюсу	25
---	----

Практичне заняття №4

Розрахунок параметрів режиму та вибір матеріалів для виконання зварного з'єднання	35
--	----

Практична заняття №5

Вибір матеріалів при газополуменовому напилюванні покриттів	37
--	----

Практична заняття №6

Вивчення технологічних особливостей зварювання порошковими дротами	60
---	----

Вибір матеріалів та призначення режимів ручного дугового зварювання

Мета роботи: засвоїти методику вибору зварювального електроду, визначати його витрату, методику вибору режимів зварювання, проаналізувати технологічні властивості електродів, зняти зовнішню характеристику джерела струму.

Устаткування, прилади, інструменти, матеріали: зварювальний пост змінного струму з електровимірювальними приладами (амперметром, вольтметром), ваги циферблатні з гирями, секундомір, лінійка, електроди, сталеві пластини для наплавлення.

Короткі теоретичні відомості

Ручне дугове зварювання (РДЗ) відноситься до зварювання плавленням. Джерелом тепла служить електрична дуга, що виникає між електродом і виробом, що зварюється, при протіканні постійного або змінного струму.

При ручному дуговому зварюванні на стабільність горіння дуги, якість наплавлення або зварного шва, на продуктивність процесу впливає ряд факторів, найважливіші з яких:

- 1) правильний підбір і розрахунок основних параметрів зварювання;
- 2) правильний вибір джерела живлення (змінного, постійного струму);
- 3) технологічні властивості електродів.

Для живлення зварювальної дуги застосовують джерела змінного і постійного струму. Джерелами живлення дуги змінного струму при ручному дуговому зварюванні є зварювальні трансформатори зі збільшеним магнітним розсіюванням і рухомими обмотками типу ТС, ТСК, TD, схема яких зображена на рис. 1.1.

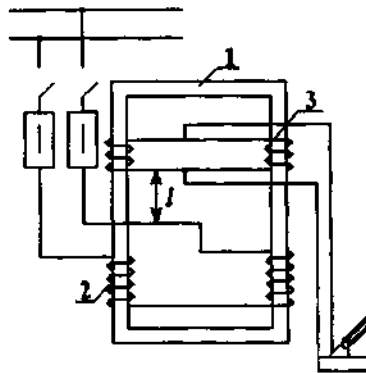


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема зварювального трансформатора.

Сердечник трансформатора 1 стрижневого типу, котушки первинної обмотки 2 нерухомі, а котушки вторинної обмотки 3 переміщуються догори й донизу вручну за допомогою гвинта й рукоятки, розташованої на кришці кожуха трансформатора.

Зварювальний струм регулюється зміною відстані між первинною й вторинною обмотками. При зближенні обмоток магнітний потік розсіювання

(частина основного магнітного потоку, що частково замикається через повітряний зазор між обмотками) та індуктивний опір зменшуються, а зварювальний струм збільшується. Мінімальний зварювальний струм відповідає найбільшій відстані між обмотками.

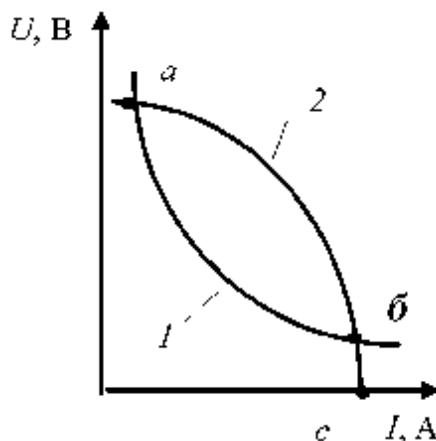


Рисунок 1.2 – Співвідношення зовнішньої характеристики струму й статичної характеристики дуги.

Властивості джерела струму визначаються його зовнішньою характеристикою, що являє собою залежність напруги на затискачах джерела від струму у зварювальному ланцюзі $U=f(I)$. Стійкість горіння дуги залежить від співвідношення форм зовнішньої характеристики джерела й статичної характеристики дуги. Для ручного дугового зварювання, коли характеристика дуги жорстка (рис. 1.2, крива 1), зовнішня характеристика джерела живлення повинна бути крутопадаючою (крива 2). Крім того, при крутоспадаючій характеристиці полегшується запалювання дуги за рахунок підвищеної напруги холостого ходу й обмежується струм короткого замикання.

Режим зварювання – один з основних елементів технологічного процесу, що визначає якість і продуктивність зварювання. При РДЗ основними параметрами режиму є діаметр електрода D_e в мм, зварювальний струм $I_{зв}$ в амперах, напруга на дузі U_d у вольтах і швидкість зварювання $V_{зв}$ у м/год.

Визначення режиму зварювання починають із вибору діаметра електрода, його типу й марки. Діаметр електрода D_e вибирається залежно від товщини металу S , що зварюється, (табл. 1.1) при зварюванні *стикових* з'єднань і від катета шва h (табл. 1.2) при зварюванні *кутових і таврових* з'єднань.

Таблиця 1.1 – Значення діаметра електрода залежно від товщини деталей, що зварюються.

Товщина деталей S , мм	1,5...2	3	4...8	9...12	13...15	16...20
Діаметр електрода D_e , мм	1,6...2	3	4	4-5	5	5...6

Таблиця 1.2 – Значення діаметра електрода в залежності від катета шва.

Катет шва h , мм	3	4...5	6...9
Діаметр електрода D_e , мм	3	4	5

При зварюванні *багатопрохідних* швів стикових з'єднань перший прохід повинен виконуватися електродами діаметром не більше 5 мм, найчастіше діаметром 4 мм, тому що застосування електродів більшого діаметра не дозволяє в необхідному ступеню проникнути в глибину розробки кромки для проварювання кореня шва.

При зварюванні кутових і таврових з'єднань, як правило, за один прохід виконують шви катетом не більше 8...9 мм. При необхідності виконання шва з більшим катетом застосовується зварювання за два проходи і більше.

При визначенні числа проходів слід мати на увазі, що максимальний поперечний переріз металу, наплавленого за один прохід, не повинен перевищувати 30...40 мм².

Кромки обробляють з метою повного проварювання заготовок по перерізу, що є однією з умов рівномірності зварного з'єднання з основним металом. Форми підготовки кромки під зварювання розрізняють V, К, Х – подібні.

При ручному зварюванні основними видами зварних з'єднань є *стикові, кутові, таврові і з'єднання внахлестку*.

Стикові з'єднання в залежності від товщини зварювальних листів діляться на кілька типів. При товщині листів від 1 до 3 мм застосовуються стикові з'єднання з відбортовуванням кромки.

Листи товщиною від 1 до 8 мм зварюються встик *без підготовки кромки*. Для листів товщиною від 1 до 6 мм застосовується одностороннє зварювання іноді з знімними або незнімними підкладками; листи завтовшки від 3-3,5 мм до 8 мм зварюються з двох сторін. Гранична товщина металу в цьому випадку визначається можливістю проплавлення всього перерізу з однією або з двох сторін.

Для забезпечення проварювання всього перерізу при зварюванні листів більшої товщини виконується скошування кромки.

Для металу товщиною від 3 до 26 мм передбачається так зване V-подібне одностороннє або двостороннє скошування кромки. При цих з'єднаннях також можуть застосовуватися знімні або незнімні підкладки. Метал товщиною від 12 до 40 мм може зварюватися К-подібним з'єднанням, при якому проводиться двостороннє скошування однієї тільки кромки. Для товщини від 20 до 60 мм з метою економії наплавленого металу може застосовуватися U-подібне з'єднання з криволінійним скошуванням однієї або двох кромки.

Для металу товщиною від 12 до 60 мм виконується Х-подібна підготовка кромки. При Х-подібному стиковому з'єднанні для товщини металу від 30 до 60 мм може застосовуватися також двостороннє криволінійне скошування двох кромки. Основними конструктивними елементами оброблення є: кут обробки кромки, притуплення і зазор в стикі. Кут обробки кромки для V- і Х-подібних з'єднань приймають рівним 60°, а для V-подібного з'єднання зі скошуванням однієї кромки так само, як і для К-подібного з'єднання, рівним 50°.

Величина нескошеної частини або так зване притуплення становить 1-2 мм, а зазор приймається рівним 2 мм.

Кутові з'єднання при товщині металу не більше 3 мм можуть виконуватися з відбортовуванням кромки. При великих товщинах, в залежності від виду кутового з'єднання і товщини зварювальних листів, зварювання виробляється без

скошуванням, а також з одностороннім або двостороннім скошуванням кромek вертикального листа.

Таврові з'єднання, що застосовуються для товщини металу від 2 до 60 мм, також виконуються без скошування або із скошуванням кромek вертикального листа. З'єднання без скошування кромek застосовуються для товщини від 2 до 30 мм. Такі з'єднання зварюються як односторонніми, так і двосторонніми швами. При цьому величина зазору може становити від 0 до 4 мм. Величина катета вибирається залежно від товщини листів та умов роботи.

З'єднання з одностороннім скосом кромek виконуються при товщині листів від 4 до 26 мм і двостороннім скошуванням для товщини металу від 12 до 60 мм. Кут оброблення кромek приймають рівним 50° , а притуплення від 1 до 2 мм, величина зазору зазвичай становить близько 2 мм.

З'єднання *внахлестку* виконуються одно- або двосторонні. Шви накладаються суцільні або переривчасті.

Марку електрода вибирають залежно від хімічного складу металу, що зварюється. Покриття електрода зі шлакоутворюючою основою на базі карбонатів кальцію або магнію й плавиикового шпату називається *основним*. Основні покриття придатні для зварювання й вуглецевих, і легованих сталей. Найбільш відомі марки електродів цієї групи - УОНИИ-13/45, АНО-7, АНО-8. Наплавлений ними метал має високу ударну в'язкість при негативних температурах.

Покриття із шлакоутворюючою основою на базі рутилу (TiO_2) називають *рутиловим*, що є найпоширенішим у нашій країні. Широко використовують електроди марок МР-3, ОЗС-4, АНО-4 через високі механічні властивості швів і гарні зварювально-технологічні характеристики.

При виборі типу електрода слід керуватися ГОСТ 9467-75. У ньому передбачено дев'ять типів електродів: Э38, Э42, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60. Їх застосовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей з тимчасовим опором розриву до 600 МПа. Для зварювання легованих сталей з тимчасовим опором понад 600 МПа використовують електроди Э70, Э150. У позначенні типу електрода букви Э (електрод) і цифра, що показує мінімальний тимчасовий опір розриву металу шва або наплавленого металу в кгс/мм^2 . Літера А після цифрового позначення електродів указує на підвищені пластичність і в'язкість металу шва.

Тип електрода вибирають таким чином, щоб міцність металу шва й міцність основного металу були приблизно рівні. Наприклад, якщо в основного металу $\sigma_b = 480$ МПа, то варто вибрати електрод типу Э50 або Э50А.

Зварювальний струм залежно від діаметра електрода визначають за формулою:

$$I_{\text{зг}} = kD_e, A \quad (1.1)$$

де D_e – діаметр електрода, мм; k – коефіцієнт, що залежить від діаметра електрода й типу покриття.

Коефіцієнт k визначається за табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Значення дослідного коефіцієнта в залежності від діаметра електрода.

Діаметр електрода D_e , мм	2	3	4	5	6
Дослідний коефіцієнт k , А/мм	25...30	30...45	35...50	40...55	45...60

При зварюванні вертикальних швів зварювальний струм зменшується на 10%, стельових – на 20% проти розрахункового.

Напругу на дузі визначають за формулою:

$$U_d = \alpha + \beta \cdot L_d \quad (1.2)$$

де α – падіння напруги на електроді ($\alpha = 10...12$ – для сталевих електродів, $\alpha = 35...38$ – для вугільних електродів); $\beta = 2$ В/мм – падіння напруги на 1 мм дуги; L_d – довжина дуги, $L_d = 0,5 (D_e + 2)$, мм. Для найбільш широко застосовуваних електродів у середньому U_d становить 25...28 В.

Розплавлення металу електрода характеризується коефіцієнтом розплавлення α_p , що визначає, яка маса металу електрода при силі струму в один ампер розплавиться за одну годину горіння дуги:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{зв} \cdot t}, \text{ г / А} \cdot \text{год}, \quad (1.3)$$

де G_p – вага розплавленого металу, г; $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; t – час горіння дуги, год.

Не увесь розплавлений метал електрода переноситься в шов. Частина його втрачається на розбризкування, випаровування і вигорання. Тому продуктивність процесу зварювання визначають, виходячи з коефіцієнта наплавлення α_n , що менше коефіцієнта розплавлення на величину втрат електродного металу. Коефіцієнт наплавлення α_n визначається за формулою:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I_{зв} \cdot t}, \text{ г / А} \cdot \text{год}, \quad (1.4)$$

де G_n – вага наплавленого металу, г; $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; t – час горіння дуги, год.

Коефіцієнт втрат електродного металу ψ визначається за формулою:

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

Значення розглянутих коефіцієнтів залежать від марок електродів, роду й полярності струму й становлять $\alpha_p = 7...13$ г/А·год.; $\alpha_n = 6...12,5$ г/А·год.; $\psi = 5...25\%$.

Швидкість зварювання визначають із виразу:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{\rho \cdot F_{шв}}, \text{ м / год}, \quad (1.6)$$

де $V_{зв}$ – швидкість зварювання, м/год.; α_n – коефіцієнт наплавлення, г/А·год.; $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; ρ – густина металу, г/мм³ (для сталі $\rho = 7,85 \cdot 10^{-3}$ г/мм³); $F_{шв}$ – площа перетину наплавленого металу шва, що являє собою суму елементарних геометричних фігур, що становлять перетин шва, мм².

Площа перерізу одностороннього стикового шва виконаного без зазору можна визначити за формулою:

$$F_{шв} = 0,75 \cdot e \cdot q, \text{ мм}^2, \quad (1.7)$$

а при наявності зазору в з'єднанні - за формулою:

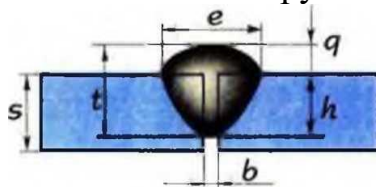
$$F_{шв} = 0,75 \cdot e \cdot q + S \cdot b, \text{ мм}^2, \quad (1.8)$$

де e - ширина шва, мм;

q - висота підсилення шва, мм;

S - товщина зварюваного металу, мм;

b - величина зазору в стику, мм



Розміри зварювального шва визначаються з ГОСТ 5264-80, або орієнтовно: без скошування кромки – $e=4 \dots 8$ мм ; $q=1 \dots 2$ мм; із скошуванням кромки та товщиною зварюваних деталей $S=3 \dots 40$ мм - $e=10 \dots 44$ мм ; $q=0,5$ мм.

Площа поперечного перерізу кутового шва, яку необхідно знати при визначенні числа проходів, розраховують за формулою:

$$F_{шв} = K_y \cdot K^2 / 2 \text{ мм}^2, \quad (1.9)$$

де K - катет шва, мм;

K_y - коефіцієнт збільшення, який враховує випуклість шва і зазори.

Для кутових швів з катетом 2 - 20 мм, коефіцієнт K_y вибирають по табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Рекомендації по вибору коефіцієнта посилення, що враховує опуклість шва і зазори

Катет шва, K , мм	2	3-4	4-5	6-8	9-12	12-20
Коефіцієнт збільшення (K_y)	1,8	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10

Визначивши приблизну площу перетину кутового шва і знаючи максимально можливу площу перетину, що отримується за один прохід, знаходять число проходів « n » за формулою:

$$n = F_{шв} / (30 \dots 40). \quad (1.10)$$

Отримане дробове число округлюють до найближчого цілого.

Маса наплавленого металу визначається за формулою:

$$G_n = F_{шв} \cdot L \cdot \rho, \text{ г} \quad (1.11)$$

Час горіння дуги (основний час) визначаємо за формулою:

$$t_0 = \frac{G_n}{I_{зв} \cdot \alpha_n} \quad (1.12)$$

Повний час зварювання T визначаємо за формулою:

$$T = \frac{t_0}{k_n}, \text{ год.} \quad (1.13)$$

де k_n – коефіцієнт використання зварювального поста, який приймається для ручного зварювання 0,5-0,55.

Витрати електродів k_e на 1 кг для ручного дугового зварювання (наплавлення) приймаються за довідковими таблицями і складають: $k_e = 1,5$.

Маса електродів складає:

$$G_m = G_n \cdot k_e, \text{ грам електродів.} \quad (1.14)$$

Електроди певного діаметру мають власну середню масу (табл. 1.5)

Таблиця 1.5 – Маса електрода залежно від його діаметру.

Діаметр електрода D_e , мм	2,5	3,0	4,0	5,0
Маса електрода m_1 , г	17,0	26,1	57,0	82,0

Визначення необхідної кількості електродів:

$$n = \frac{G_n}{m_1}. \quad (1.15)$$

Витрати електроенергії, кВт·год. визначаються за формулою:

$$A = \frac{U_d \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0), \quad (1.16)$$

де η – ККД джерела живлення зварювальної дуги, W_0 – потужність, що витрачається джерелом живлення зварювальної дуги при холостому ході, кВт.

Значення η та W_0 приймаємо з табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Значення ККД джерела живлення та потужності при різних видах струму.

Вид струму	η	W_0
Змінний	0,8-0,9	0,2-0,4
Постійний	0,6-0,7	2,0-3,0

Порядок виконання роботи

1. Вивчити устаткування зварювального поста.
2. Вивчити будову і принцип роботи джерела живлення електричної дуги.
3. Зняти зовнішню характеристику джерела струму.

Щоб побудувати зовнішню характеристику, необхідно одержати три характерні точки a , b , c (рис. 1.2), які відповідають режимам холостого ходу, робочому режиму, режиму короткого замикання. Для одержання точки a необхідно при включеному джерелі живлення й розімкнутому ланцюзі зняти показання амперметра й вольтметра. Для одержання точки c необхідно зварювальний ланцюг замкнути накоротко й визначити струм короткого замикання за амперметром. Для одержання точки b необхідно в процесі наплавлення зняти показання амперметра й вольтметра. Результати вимірювань занести в табл. 1.7 і за цими даними побудувати зовнішню характеристику джерела живлення (рис. 1.3).

Таблиця 1.7 – Експериментальні дані.

Режим роботи	Показання приладів	
	I, A	U, B
Холостий хід		
Стійке горіння дуги		
Коротке замикання		

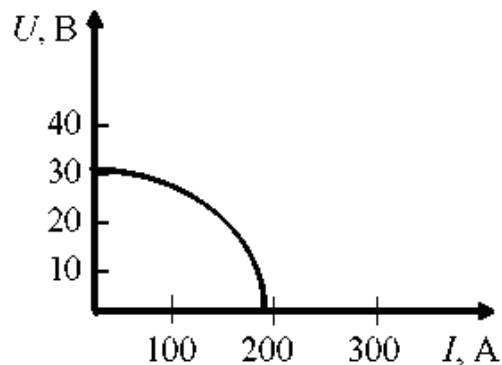


Рисунок 1.3 – Зовнішня характеристика джерела струму.

4. Розрахувати режим ручного дугового зварювання. Для розрахунку параметрів РДЗ вихідні дані взяти з табл. 1.8 згідно номеру варіанта, заданого викладачем:

- вибрати діаметр електрода (табл. 1.1. та 1.2);
- визначити величину зварювального струму за формулою (1.1) і табл. 1.3;
- визначити напругу на дузі за формулою (1.2);
- вибрати тип і марку електрода; розшифрувати марку електрода та описати його призначення;
- виконати аналіз зварюваності матеріалу виробу та дати рекомендації щодо покращення зварюваності.

Таблиця 1.8 – Вихідні дані для розрахунку параметрів режиму ручного дугового зварювання.

№ варіанта	Марка сталі	Тимчасовий опір на розрив, МПа	Товщина металу S, мм	Вид з'єднання	Положення шва у просторі
1	ВСт3сп	400	4	кутове	нижнє
2	10	340	6	кутове	нижнє
3	20Г	460	3	стикове	нижнє
4	16ГС	530	5	стикове	стельове
5	15ХСНД	500	8	стикове	вертикальне
6	10Г2С	520	7	стикове	нижнє
7	ВСт2сп	370	7	кутове	нижнє
8	14Г2	470	10	стикове	нижнє
9	09Г2	450	6	стикове	стельове
10	15	380	4	стикове	вертикальне

Примітка. При зварюванні кутових швів з товщиною деталі 4...6 мм катет шва дорівнює 5 мм, з товщиною деталі 6-8 мм – дорівнює 6 мм.

5. Визначити коефіцієнт розплавлення за формулою (1.3), коефіцієнт наплавлення за формулою (1.4), коефіцієнт втрат електродного металу за формулою (1.5).

6. Визначити швидкість зварювання використовуючи формули (1.6-1.10);

7. Визначити вагу наплавленого металу за формулою (1.11);

8. Визначити час горіння дуги за формулою (1.12); повний час зварювання за формулою (1.13).

9. Визначити масу електродів за формулою (1.14) та їх кількість за формулою (1.15);

10. Визначити витрати електроенергії за формулою (1.16);

11. Отримані дані занести в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Результати розрахунку параметрів ручного дугового зварювання.

№ варіанта	Діаметр електрода D_e , мм	Зварювальний струм $I_{зв}$, А	Напруга при зварюванні U_d , В	Тип електрода	Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год.	Вага наплавленого металу G_n , г	Повний час зварювання T , год.	Маса електродів, г	Витрати електроенергії A , кВт·год.

Зміст звіту

1. Назва й мета роботи, опис устаткування зварювального поста.
2. Схема джерела живлення й опис основних його вузлів.
3. Експериментальні дані (табл. 1.7) і зовнішня характеристика джерела струму (рис. 1.3).
4. Розрахунок параметрів режиму ручного дугового зварювання, табл. 1.9.
5. Розрахунок технологічних коефіцієнтів електродних покриттів.

Завдання 1

Зобразити схему й описати сутність процесу ручного дугового зварювання товстопокритим електродом. Розробити технологічну схему зварювання сталевій конструкції (сталь 12ХМ, $\sigma_b = 450$ МПа), рис. 1.4.

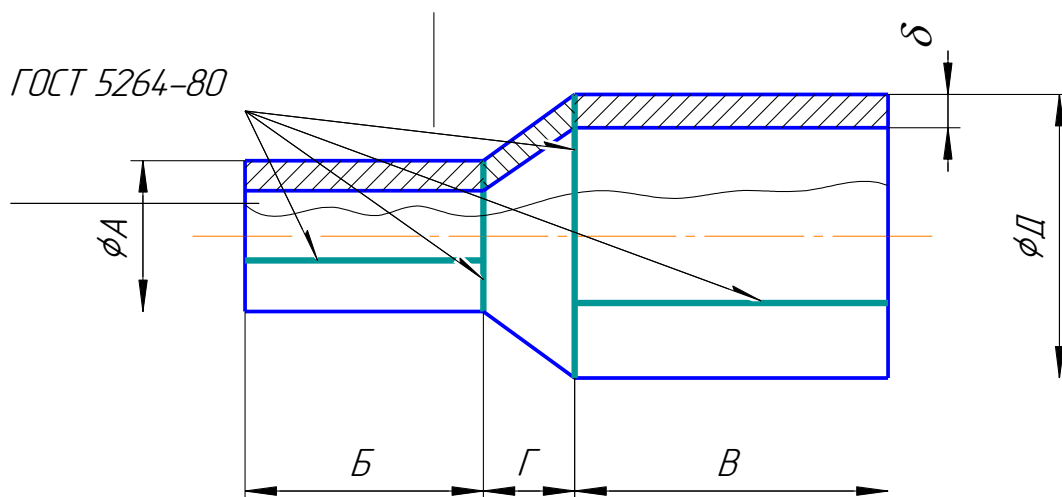


Рисунок 1.4 – Схема до завдання 1.

Вибрати устаткування і зварювальні матеріали (марку й тип електрода). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату зварювальних електродів, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

Таблиця 1.10 – Варіанти до завдання 1.

№	Розміри, мм					
	A	Б	В	Г	Д	δ
1	250	500	300	100	300	4
2	400	650	400	150	400	5
3	500	700	350	200	350	6
4	150	300	200	80	200	4
5	100	200	250	100	250	4

Завдання 2

Зобразити схему й описати сутність процесу ручного дугового зварювання товстопокритим електродом. Розробити технологічну схему зварювання сталевій конструкції (сталь 20Х18Н10Т, $\sigma_B = 530$ МПа), рис. 1.5.

Таблиця 1.11 – Варіанти до завдання 2.

№	Розміри, мм				
	A	Б	В	δ_1	δ_2
1	220	600	150	6	4
2	250	800	200	6	5
3	180	600	300	5	4
4	150	550	200	5	4
5	200	700	250	6	4

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку й тип електрода). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити

витрату зварювальних електродів, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

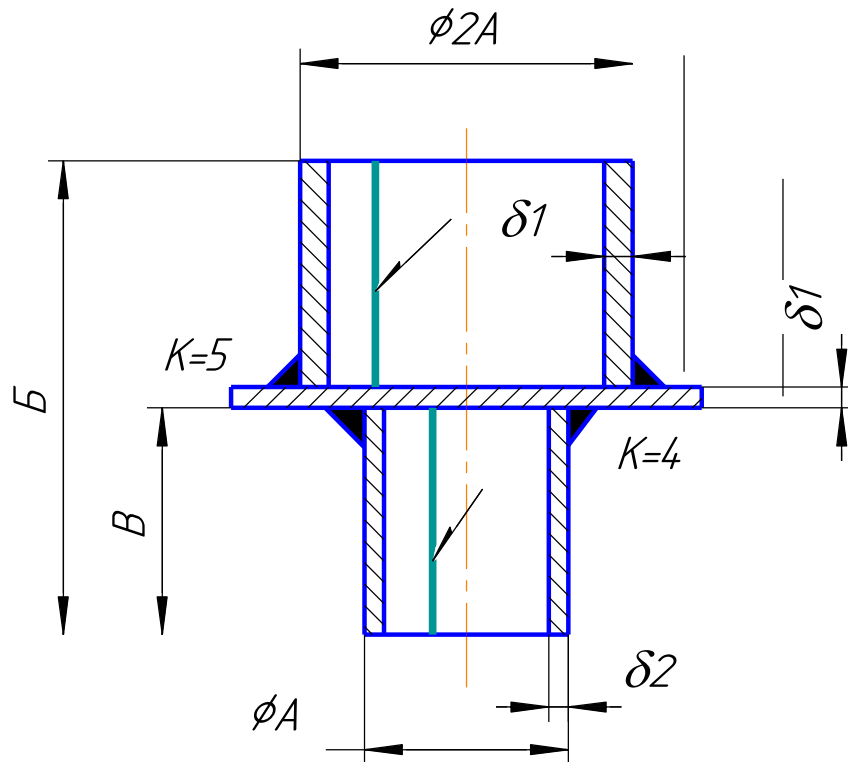


Рисунок 1.5 – Схема до завдання 2.

Завдання 3

Зобразити схему й описати сутність процесу ручного дугового зварювання товстопокритим електродом. Розробити технологічну схему зварювання сталевій конструкції (сталь 17ГСБ, $\sigma_B = 580$ МПа), рис. 1.6.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку й тип електрода). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату зварювальних електродів, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

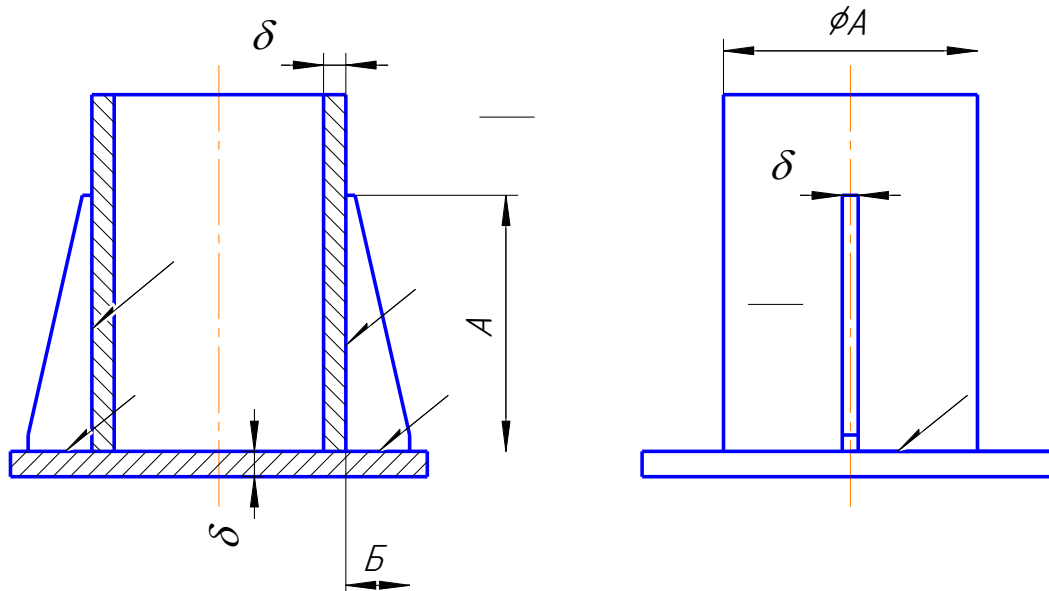


Рисунок 1.6 – Схема до завдання 3.

Таблиця 1.12 – Варіанти до завдання 3.

№	Розміри, мм		
	А	Б	δ
1	300	150	6
2	350	170	6
3	400	200	6
4	450	200	8
5	250	100	5

Завдання 4

Зобразити схему й описати сутність процесу ручного дугового зварювання товстопокритим електродом. Розробити технологічну схему зварювання сталеві конструкції (сталь 17ГС, $\sigma_b = 530$ МПа), рис. 1.7.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку й тип електрода). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату зварювальних електродів, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварених швів даної конструкції.

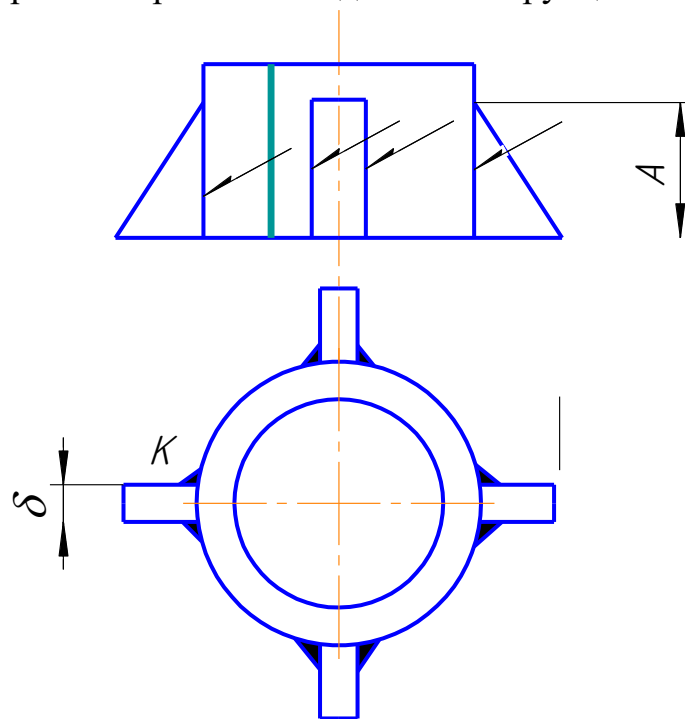


Рисунок 1.7 – Схема до завдання 4.

Таблиця 1.13 – Варіанти до завдання 4.

№	Розміри, мм		
	А	δ	К
1	200	8	6
2	300	8	6
3	350	9	7
4	400	10	8
5	500	10	8

Контрольні питання

1. Розкажіть про загальну будову і принцип роботи зварювального трансформатора?
2. Розкажіть про природу електричної дуги та її властивості?
3. Що являє собою зовнішня характеристика джерела живлення і які вимоги висуваються до неї?
4. Розкажіть про класифікацію зварювальних електродів?
5. Які основні параметри режиму ручного дугового зварювання?

Практичне заняття №2

Вибір матеріалів та розрахунок режимів зварювання в середовищі вуглекислого газу

Мета роботи: засвоєння методики вибору матеріалів, устаткування і режимів напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу.

Матеріали, устаткування, інструменти: напівавтомат марки ПДГ-312-1УЗ, зварювальний дріт, пластини для наплавлення.

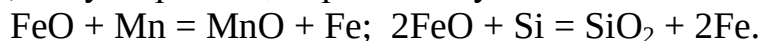
Короткі теоретичні відомості

Особливість напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу полягає в тому, що електрична дуга горить між голим електродним дротом і зварювання відбувається у середовищі вуглекислого газу, що відтискає повітря із зони зварювання. В інтервалі високих температур вуглекислий газ є активним окислювачем, тому що дисоціює з утворенням атомарного кисню: $\text{CO}_2 = \text{CO} + \text{O}$. В результаті у зварювальній ванні можуть протікати наступні реакції:



Із цих реакцій видно, що при зварюванні у вуглекислому газі відбувається підвищене вигорання елементів, що входять до складу основного металу: вуглецю, кремнію, марганцю та ін.

Щоб зупинити реакції окислювання, а також поповнити вигорілі домішки, при зварюванні у вуглекислому газі застосовують електродний дріт, легований марганцем і кремнієм. Вони відновлюють залізо з його окислів, при цьому окисли марганцю й кремнію, що утворилися, переходять у шлаки:



Зварювання у середовищі вуглекислого газу – процес високопродуктивний, може виконуватися в усіх просторових положеннях постійним струмом зворотної полярності. Змінний струм і постійний струм прямої полярності не застосовуються через недостатню стійкість процесу й незадовільну якість і форму шва.

У вуглекислому газі зварюють в основному конструкції з конструкційної вуглецевої і низьколегованої сталі (газопроводи, нафтопроводи, корпуси судів і хімічних апаратів та ін.).

Переваги напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу з погляду його вартості й продуктивності дозволяють замінити ним ручне дугове зварювання якісними електродами.

Для зварювання у вуглекислому газі застосовується напівавтомат ПДГ-312-1УЗ (рис. 2.1), що призначений для електродугового зварювання дротом марки Св-08Г2С за ДСТ 2246-70 діаметром 1,0...1,4 мм у вуглекислому газі виробів з маловуглецевої і низьколегованої сталі.

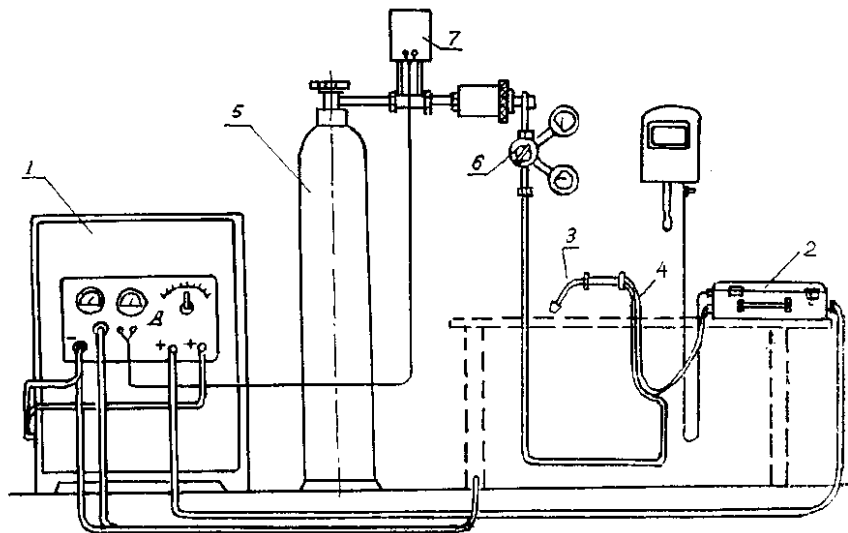


Рисунок 2.1 – Схема напівавтомату для зварювання у вуглекислому газі:
1 – зварювальний випрямляч; 2 – механізм, що подає; 3 – газоелектричний пальник; 4 – шланг; 5 – балон з газом; 6 – газовий редуктор; 7 – підігрівач газу.

Механізм 2, призначений для подачі електродного дроту з касети через шланг у пальник. Дріт подається парою роликів, один із яких – ведучий. Ведучий ролик приводиться в рух електродвигуном типу КПА-563. Швидкість подачі дроту змінюється в діапазоні 75...1000 м/год.

Шланг 4 призначений для підведення зварювального струму й електродного дроту від механізму, що подає, до пальника.

Газоелектричний пальник 3 служить для підведення зварювального струму, електродного дроту й вуглекислого газу безпосередньо до електричної дуги. На рукоятці пальника встановлена пускова кнопка для включення зварювального струму й двигуна подачі дроту.

Газова апаратура містить у собі балон з вуглекислотою, газовий редуктор 6 і підігрівач газу 7. Балон призначений для зберігання вуглекислоти (малий – 12 кг, великий – 25 кг) під тиском 15 МПа. Підігрівач призначений для підігрівання вуглекислого газу, що надходить із балона в редуктор з метою попередження замерзання клапанів при перепаді тиску.

Редуктор призначений для зниження тиску газу до робочого – 0,5 МПа й підтримки його постійним у процесі зварювання.

Зварювальний випрямляч типу ВДГ-303-ІУЗ служить джерелом живлення зварювальної дуги.

При зварюванні в середовищі захисних газів електродом, що плавиться, основними параметрами технологічного режиму є: діаметр електродного дроту D_e в мм, зварювальний струм $I_{зв}$ в амперах, напруга на дузі U_d у вольтах, швидкість

зварювання $V_{зв}$ у м/год., швидкість подачі електродного дроту $V_{п.д.}$ у м/год., виліт електрода L_e в мм, рід струму й полярність.

Зварювання в середовищі вуглекислого газу виконує зазвичай виконують на зворотній полярності. При прямій полярності швидкість розплавлення в 1,4...1,6 рази вища, ніж при зворотній, однак дуга горить менш стабільно з інтенсивним розбризкуванням. Зварювальний струм, від якого залежать розміри шва і продуктивність зварювання, залежить від діаметру і складу дроту, його встановлюють відповідно до швидкості подачі дроту.

Швидкість зварювання становить зазвичай 15...80 м/год, її вибирають з урахуванням продуктивності і якості формування шва. Якісні з'єднання можливо отримати при товщині металу для автоматичного зварювання $>0,5$ мм, напівавтоматичного > 1 мм, зазвичай зварюють товщини > 3 мм.

Метали товщиною до 4 мм зварюють без оброблення кромки. Для поліпшення формування шва при товщині металу $>2...3$ мм зварювання проводять на мідній підкладці або на підкладці з основного металу. Для зварювання тонколистового металу використовують дріт діаметром 0,5...1,2 мм. Метал товщиною 4...12 мм зазвичай зварюють за два проходи з двох сторін без розробки кромки, товщиною 15...20 мм - за два-три проходи з кутом обробки 60° і притуплюванням 2...4 мм. При товщині 20...30 мм застосовують двосторонню обробку кромки з кутом 60° і притуплюванням 2...4 мм. Метали більшої товщини доцільно зварювати при вузькій щільній обробці кромки за кілька проходів.

Для вибору матеріалу електродного дроту можливо скористатися даними табл. 2.0.

Таблиця 2.0

Марка зварювального дроту	Застосування
Св-08ГС	Для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей при силі струму 300-400А
Св-08Г2С	Для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей при силі струму 600-750А
Св-10ХГ2С	Для зварювання низьколегованих сталей підвищеної міцності
Св-08ХГ2СМ	Для зварювання теплостійких сталей типу 15ХМА
Св-08ХГСМФ	Для зварювання теплостійких сталей типу 20ХМФ
Св-08ХЗГ2СМ	Для зварювання сталі 30ХГСА
Св-08Х14ГТ Св-10Х17Т	Для зварювання хромистих сталей типу Х13, Х17
Св-06Х19Н9Т Св-08Х19Н10Б	Для зварювання корозійностійких сталей марок 08Х18Н10, 08Х18Н9, 08Х18Н9Т і 08Х18Н10Т

Діаметр електродного дроту підбирають залежно від товщини металу, що зварюється, за даними табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані діаметри електродного дроту для зварювання у вуглекислому газі.

Товщина металу S, мм	0,6...1,0	1,2...2,0	3,0...4,0	5,0...8,0	9,0...12,0	13,0...18,0
Діаметр електродного дроту D _е , мм	0,5...0,8	0,8...1,0	1,0...1,2	1,6...2,0	2,0	2,0...2,5

Зварювальний струм розраховується за формулою:

$$I_{зв} = jF_{ел}, A \quad (2.1)$$

де j – густина струму, А/мм² густина струму складає $j=75...200$ А/мм²;

$F_{ел}$ – площа поперечного перерізу електродного дроту, мм². $F_{ел} = \frac{\pi D_e^2}{4}$.

Швидкість подачі електродного дроту розраховується за формулою:

$$V_{пд} = \frac{4\alpha_p I_{зв}}{\pi D_e^2 \rho}, мм/с, \quad (2.2)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення електродного дроту, г/А·с; $I_{зв}$ – зварювальний струм, А; D_e – діаметр електродного дроту, мм; $\rho = 7,85 \cdot 10^{-3}$ г/мм³ – густина металу.

Величина коефіцієнта розплавлення дроту визначається із залежності:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \frac{I_{зв}}{D_e} \right) 10^{-4}, г/А \cdot с, \quad (2.3)$$

Швидкість зварювання (наплавлення) визначається за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n I_{зв}}{F_n \rho}, мм/с, \quad (2.4)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення, г/А·с; $I_{зв}$ – зварювальний струм, А; F_n – площа поперечного перерізу шва, мм².

Коефіцієнт наплавлення визначається за формулою:

$$\alpha_n = \alpha_p \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), г/А \cdot с, \quad (2.5)$$

де $\psi = 7...15$ % – втрати електродного металу на вигорання, випаровування і розбризкування.

Площа поперечного перерізу шва визначається за формулами 1.7-1.10 (див. практичне заняття №1).

Напруга на дузі вибирається за табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані значення напруги дуги.

Діаметр електродного дроту D _е , мм	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Напруга на дузі U _д , В	17...22	19...24	20...27	20...31	21...34	23...37

Виліт електрода (довжину електродного дроту між її кінцем і виходом з мундштука пальника) рекомендується вибирати залежно від діаметра електродного дроту за табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Рекомендовані значення вильоту електродного дроту залежно від його діаметру.

Діаметр електродного дроту D_e , мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Виліт електрода L_e , мм	6...12	7...13	8...15	13...20	15...20	15...30

Витрата вуглекислого газу визначається залежно від величини струму, швидкості зварювання, вильоту електрода й у середньому перебуває в межах:

$$10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Величина витрати вуглекислого газу вибирається за табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Залежність напруги і витрати вуглекислого газу від сили зварювального струму.

Сила зварювального струму, А	50...60	90...100	150...160	220...240	280...300	360...380	430...450
Напруга на дузі, В	17-28	19-20	21-22	25-27	28-30	30-32	32-34
Витрати CO_2 , л/хв.	8-10	8-10	9-10	15-16	15-16	18-20	18-20

Маса наплавленого металу визначається за формулою:

$$G_n = F_n \cdot l \cdot \rho, \text{ г}, \quad (2.6)$$

де l – довжина шва наплавленого металу, мм (за схемою рис. 2.2).

Визначаємо повний час зварювання за формулою:

$$T = \frac{t_0}{k_n}, \text{ с}, \quad (2.7)$$

де t_0 – час горіння дуги, с, визначається за формулою (2.8); k_n – коефіцієнт використання посту, приймаємо $k_n = 0,6$.

Час горіння дуги:

$$t_0 = \frac{G_n}{l \cdot \alpha_n}, \text{ с}. \quad (2.8)$$

Витрати електродного дроту розраховуємо за формулою:

$$G_{op} = G_n \left(1 + \frac{\psi}{100}\right), \text{ г}. \quad (2.9)$$

Витрати електроенергії визначаємо за формулою:

$$A = \frac{U \cdot I_{ze}}{\eta \cdot 1000} \cdot \frac{t_0}{3600} + W_0 \cdot \frac{(T - t_0)}{3600}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}, \quad (2.10)$$

де η – ККД джерела живлення знаходиться в межах: на постійному струмі 0,6-0,7; при змінному – 0,8-0,9; W_0 – потужність джерела живлення на холостому ході в межах: на постійному струмі – 2,0-3,0 кВт; на змінному струмі – 0,2-0,4 кВт.

Порядок виконання роботи

1 Вивчити будову і принцип роботи напівавтомата для зварювання у вуглекислому газі.

2 Підібрати й розрахувати основні параметри напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу. Необхідні дані для розрахунку обрати з табл. 2.4 згідно номеру варіанта, заданого викладачем.

- а) підібрати діаметр електродного дроту за даними табл. 2.1;
- б) розрахувати зварювальний струм за формулою (2.1);
- в) визначити величину коефіцієнта розплавлення за формулою (2.3);
- г) розрахувати швидкість подачі електродного дроту за формулою (2.2);
- д) визначити коефіцієнт наплавлення за формулою (2.5);
- е) визначити швидкість зварювання за формулою (2.4);
- ж) за табл. 2.2 вибрати напругу на дузі;
- з) за табл. 2.3 обрати величину вильоту електродного дроту;
- і) за табл. 2.4 вибрати витрати вуглекислого газу;
- к) визначити масу наплавленого металу за формулою (2.6);
- л) визначити час горіння дуги за формулою (2.8);
- м) визначити повний час зварювання за формулою (2.7);
- н) визначити витрати електродного дроту за формулою (2.9);
- п) визначити витрати електроенергії за формулою (2.10).

Таблиця 2.5 – Завдання для розрахунку параметрів режиму напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі.

Вихідні параметри зварювання	№ варіанта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Товщина металу S, мм	0.6	1.0	2.0	4.0	5.0	8.0	10.0	15.0
Густина струму j, А/мм ²	250	200	150	120	120	100	100	90

3. Результати розрахунку занести до табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку параметрів режиму напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі.

Варіант	Діаметр електрода D _е , мм	Зварювальний струм I _{зв} , А	Швидкість подачі електродного дроту V _{пд} , м/год	Швидкість зварювання V _{зв} , м/год.	Виліт електрода L _е , мм	Напруга на дузі U _д , В

Зміст звіту

- 1 Назва й мета роботи.
- 2 Сутність зварювання в середовищі вуглекислого газу.
- 3 Схема напівавтомата з описом основних вузлів.
- 4 Розрахунок режиму зварювання.
- 5 Результати розрахунків (табл. 2.6).

Завдання 1

Зобразити схему й описати сутність процесу напіваавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу. Розробити технологічну схему зварювання сталевій конструкції (сталь 25ГС2), рис. 2.2.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку зварювального дроту). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату електродного дроту й захисного газу, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

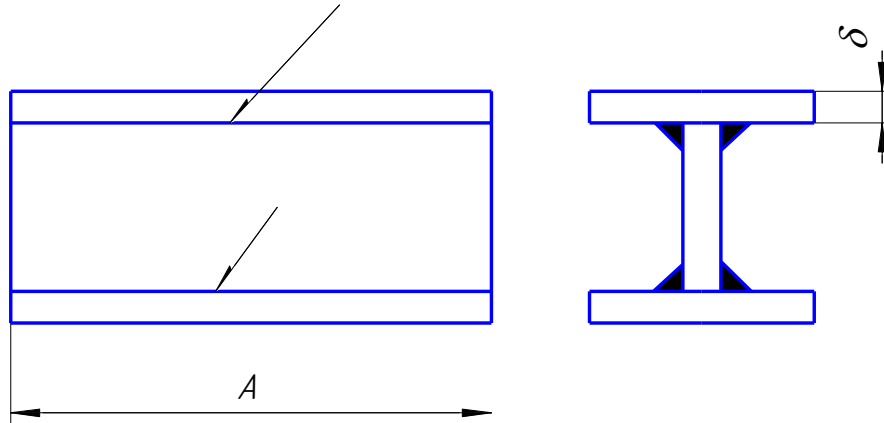


Рисунок 2.2 – Схема до завдання 1

Таблиця 2.7 – Варіанти до завдання 1.

№ варіанту	Розміри, мм	
	A	δ
1	800	10
2	1200	10
3	3000	18
4	6000	20
5	2000	15

Завдання 2

Зобразити схему й описати сутність процесу напіваавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу. Розробити технологічну схему зварювання конструкції зі сталі Вст3, рис. 2.3.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку зварювального дроту). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату електродного дроту й захисного газу, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

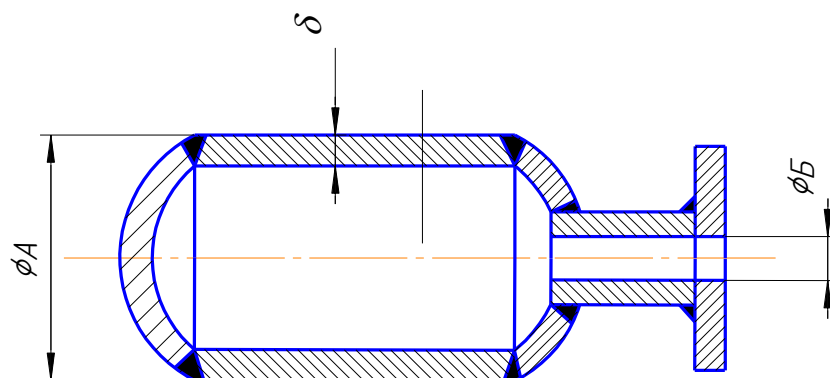


Рисунок 2.3 – Схема до завдання 2.

Таблиця 2.8 – Варіанти до завдання 2.

№	Розміри, мм		
	А	Б	δ
1	800	250	5
2	600	200	5
3	1000	300	6
4	1200	350	8
5	700	250	6

Завдання 3

Зобразити схему й описати сутність процесу напіваавтоматичного зварювання в середовищі аргону. Розробити технологічну схему зварювання конструкції зі сталі 04Х18Н10Т, рис. 2.4.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку зварювального дроту). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату електродного дроту й захисного газу, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

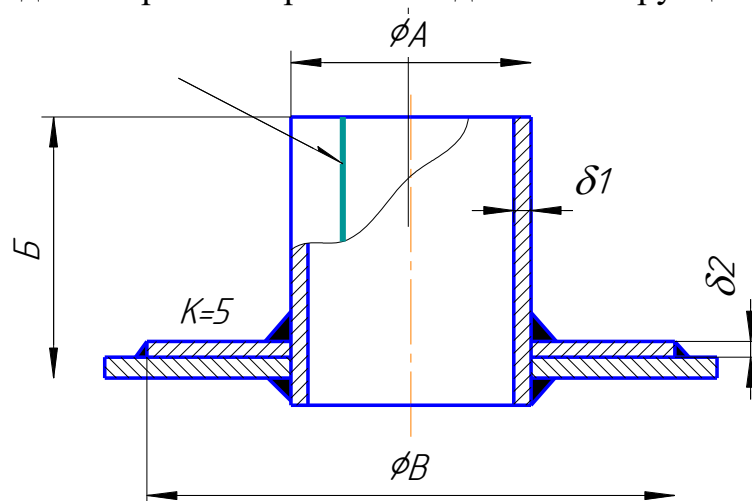


Рисунок 2.4 – Схема до завдання 3.

Таблиця 2.9 – Варіанти до завдання 3.

№	Розміри, мм				
	А	Б	В	δ_1	δ_2
1	500	700	700	6	5
2	700	900	900	8	6
3	900	1000	1300	10	8
4	400	600	600	6	5
5	600	800	950	6	5

Контрольні питання

- 1 В чому полягають сутність способу зварювання у вуглекислому газі?
- 2 Які переваги й недоліки даного способу в порівнянні з ручним дуговим зварюванням?
- 3 Яка будова і принцип роботи напівавтомата?

*Практичне заняття №3***Вибір матеріалів та режимів зварювання під шаром флюсу**

Мета роботи: вивчити устаткування зварювального поста зварювання під шаром флюсу. Засвоїти методику розрахунку режиму напівавтоматичного та автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Устаткування, прилади, матеріали: напівавтомат (або автомат) для зварювання під флюсом, зварювальний дріт, пластини для наплавлення.

Загальні методичні вказівки

Зварювання під шаром флюсу – самий старий спосіб механізованого дугового зварювання. Його здійснюють автоматами або шланговими напівавтоматами голим суцільним дротом. Зону стику перед дугою засипають шаром флюсу товщиною до декількох сантиметрів. Дуга горить під шаром флюсу й не видна, тому процес іноді називають зварюванням закритою дугою. Частина флюсу плавиться й утворює шлаки, що захищають рідкий метал від повітря. Товщина шару шлаків значно більша, ніж при ручному зварюванні, тому якість захисту краща.

За технологією виготовлення флюси підрозділяють на плавлені й керамічні. Плавлені флюси одержують розплавленням відповідних шихт в електричних і полум'яних печах з подальшою грануляцією. Вони складаються з різних оксидів і плавицевого шпату. Плавлені флюси забезпечують захист зварювальної ванни від повітря, стабілізацію зварювальної дуги й розкислення металу шва. Керамічні флюси являють собою гранульовані суміші порошків на зв'язці. Поряд з рудомінеральними речовинами в їх склад вводять феросплави, вуглецеві й інші речовини. Це дозволяє легувати метал шва й проводити металургійну обробку розплавленого металу, що поліпшує якість шва.

В якості електродів для зварювання під флюсом використовують спеціальний зварювальний дріт. Зварювальні дроти для сталі маркують аналогічно якісним і легованим сталям з літерами "Св" попереду. Наприклад: Св-08, Св-01Х19Н9.

Схема установки й процес напівавтоматичного зварювання горизонтального стикового шва електродним дротом під шаром флюсу зображені на рис. 3.1 та 3.2.

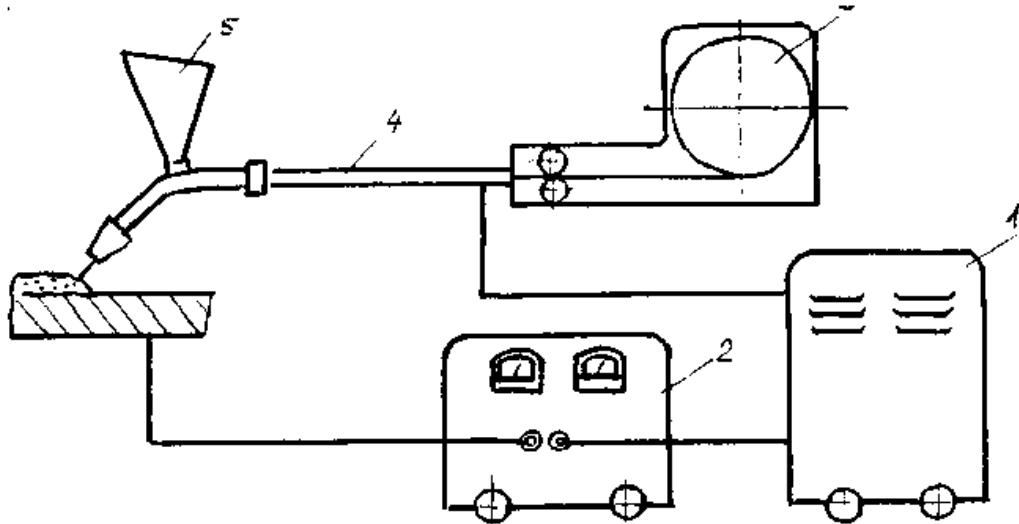


Рисунок 3.1 – Будова напівавтомата для зварювання під шаром флюсу:

1 – трансформатор; 2 – шафа керування; 3 – механізм, що подає; 4 – шланг; 5 – електротримач із бункером для флюсу

З рис. 3.2 видно, що під дією електричної дуги 1, що горить між електродним дротом 2 і виробом 3, що зварюється, флюс 4 частково розплавляється, утворюючи еластичну оболонку 5 у формі міхура й ванну рідких шлаків 6 на поверхні розплавленого металу 7.

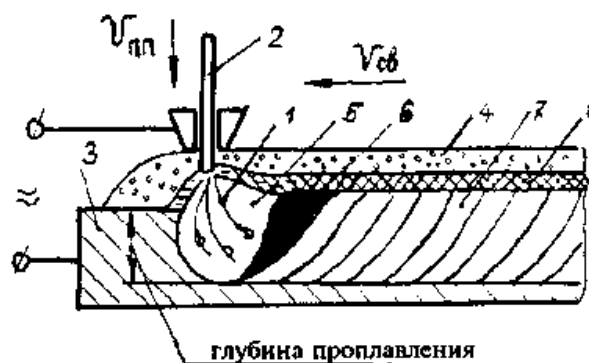


Рисунок 3.2 – Схема зварювання під шаром флюсу:

1 – електрична дуга; 2 – електродний дріт; 3 – виріб, що зварюється; 4 – флюс; 5 – оболонка; 6 – ванна рідких шлаків; 7 – розплавлений метал; 8 – зварний шов.

По мірі переміщення дуги уздовж обробленого шва наплавлений метал охолоджується й утворюється зварний шов 8. Рідкі шлаки, маючи більш низьку температуру плавлення, чим метал, твердішають трохи пізніше, сповільнюючи охолодження металу шва.

Тривале перебування металу шва в розплавленому стані й повільне остигання сприяє виходу на поверхню всіх неметалевих включень і газів, одержанню чистого, щільного й однорідного за хімічним складом металу шва.

Напівавтомат ПШ-5 являє собою універсальний і високоманеврений зварювальний агрегат, що працює при постійній швидкості подачі електродного дроту. Він може працювати також при живленні постійним струмом від зварювального генератора.

Характеристика конструкції зварювального напівавтомата

Механізм, що подає дріт, призначений для подачі електродного дроту через гнучкий шланг до тримача.

Електротримач має рукоятку, на яку кріпиться бункер для флюсу із заслінкою, кнопковий вимикач і упор для направлення тримача по стику, що зварюється. Одного бункера достатньо для шва довжиною 80 ... 130 см.

Шафа керування містить контрольні прилади (амперметр, вольтметр) і пристрій для включення й вимикання системи керування.

Зварювання під флюсом у порівнянні з ручним дуговим зварюванням більш економічне, забезпечує більш стабільну високу якість з'єднань і високу продуктивність (в 5 - 20 разів вищу за ручне дугове зварювання). Недоліками процесу є: підвищена рідкотекучість металу й флюсу; неможливість спостереження за процесом зварювання; можливість зварювання тільки у нижньому положенні.

Розрахунок режиму зварювання під шаром флюсу та вибір зварювальних матеріалів

При напівавтоматичному зварюванні під шаром флюсу до режимів відносяться: діаметр електродного дроту, зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість подачі електродного дроту, швидкість зварювання.

Марку електродного дроту й флюс призначають залежно від хімічного складу металу, що зварюється.

Флюси для зварювання низьковуглецевих сталей. Для зварювання низьковуглецевих сталей використовують оксидні флюси. При цьому можливі дві комбінації систем «флюс-зварювальний дріт»:

- висококремнієвий високомарганцевий флюс в поєднанні з низьковуглецевою нелегованою дротом (Св08, Св08А і ін.);
- висококремнієвий низькомарганцевий або безмарганцевий флюс в поєднанні з низьковуглецевим дротом, легованим марганцем, наприклад, Св10Г2.

Легування зварного шва марганцем в першій системі виконується за рахунок флюсу, в другій - за рахунок дроту. Легування кремнієм в обох системах здійснюється за рахунок флюсу.

Найбільш поширеними вітчизняними флюсами для зварювання низьковуглецевих сталей є наступні:

- висококремнієві високомарганцеві - склоподібні АН-348, АНЦ-1, ОСЦ-45, ФЦ-3, ФЦ-6, ФЦ-9 і пемзоподібний АН-60; хімічна активність Аф - від 0,75 до 0,9-0,95;

- висококремнієві середньомарганцеві склоподібні АН-1, АН-65, ФЦ-7; хімічна активність Аф - від 0,75 до 0,9;
- висококремнієвий низькомарганцевий флюс ФВТ-4 (склоподібний); хімічна активність Аф = 0,6;

Флюси для зварювання низьколегованих сталей. При зварюванні низьколегованих сталей використовуються флюси з більш низькою хімічною активністю (Аф від 0,3 до 0,6), ніж при зварюванні низьковуглецевих сталей. У них міститься менша кількість оксидів SiO₂ і MnO і більша кількість CaF₂ і CaO. За рахунок меншої активності зварювального флюсу знижується окислення легуючих елементів в сталі і поліпшується пластичність шва, однак при цьому дещо погіршується формування шва, підвищується ймовірність пороутворення.

Найбільш поширені вітчизняні флюси для зварювання низьколегованих сталей:

- низькокремнієві низькомарганцеві - ФЦ-11, ФЦ-15, ФЦ-16, ФЦ-22, ФВТ-1, АН-43;
- низькокремнієві середньомарганцеві - АН-42, АН-47.

Флюси для зварювання середньо- і високолегованих сталей. При зварюванні середньо- і високолегованих сталей зазвичай використовуються малоактивні флюси (Аф від 0,1 до 0,3). У них міститься ще менша кількість SiO₂, практично відсутня MnO, вміст CaO - до 20%, CaF₂ - від 10-20 до 60% (для більш легованих сталей вміст CaF₂ у флюсі підвищується).

Відомі вітчизняні флюси для зварювання середньо- і високолегованих сталей:

- малоактивні - АН-15, АН-17, АН-18, АН-20, АН-45, АВ-5, ФЦ-17, ФЦ-19, НФ-18, ОФ-6;
- активний зварювальний флюс АН-26 (Аф становить близько 0,5).

Флюси для зварювання активних металів. Для зварювання активних металів, наприклад, титану, застосовуватися у повному обсязі сольові флюси. До них не додаються оксиди, оскільки це призводить до забруднення швів киснем і різкого зниження їх пластичності. Флюси виробляють на основі фторидів і хлоридів лужних і лужноземельних металів, наприклад, з таким складом: 85-95% CaF₂, 0-19% BaCl, 1-6% NaCl, 0-4% CaCl.

Для вибору зварювальних матеріалів рекомендується використовувати дані з табл. 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 Області застосування флюсів

флюс	Характерна область застосування при дуговому зварюванні
АН-348-А ОСЦ-45 ФЦ-9	вуглецеві конструкційні сталі
АН-18	середньо- і високолеговані сталі
АН-42 АН-43 АН-47	вуглецеві конструкційні та середньолеговані сталі високої та підвищеної міцності
АН-60	вуглецеві конструкційні сталі, зварювання труб
АН-65	вуглецеві конструкційні сталі, зварювання на високих швидкостях

ФЦ-7	низьковуглецевих сталі, зварювання на великих струмах
ФЦ-17	високолеговані сталі аустенітного класу
ФЦ-19	високохромисті сталі
ФЦ-22	зварювання кутовими швами вуглецевих і легованих сталей
ФВТ-1	зварювання вуглецевих і легованих сталей з підвищеною швидкістю (до 150 м/год)
48-ОФ-6	зварювання високолегованим дротом

Таблиця 3.2 - Флюси та дріт для автоматичного зварювання

Марка флюсу	призначення флюсу	рекомендовані марки дроту
АН-348А, АН-348В, АНЦ-1	Зварювання та наплавлення виробів широкої номенклатури з вуглецевих і низьколегованих сталей	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2
АН-60	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей	Св-08, Св-08ГА; Св-08ХМ, Св-10НМА
АН-22	Зварювання низько- і середньолегованих сталей	Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМГА
АНК-30	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, в т.ч. холодостійких дрібнозернистих підвищеної міцності	Св-08, Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМТА

Хімічний склад зварювальних флюсів наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад деяких флюсів, що застосовуються при дуговому зварюванні

флюс	Хімічний склад, %								
	кремені земSiO ₂	глинозем Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃ **	S	P
АН-348-А*	40-44	≤ 6	31-38	≤ 12	≤ 7	3-6	0,5-2,0	≤ 0,12	≤ 0,12
ОСЦ-45*	37-44	≤ 6	37-44	≤ 10	≤ 3	5-9	0,5-2,0	≤ 0,12	≤ 0,14
АН-18 *	17-21	14-18	2,5-5,0	14-18	7-10	19-23	13,5-16,5	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-42 *	30-34	13-18	14-19	12-18	-	14-20	≤ 1,0	≤ 0,06	≤ 0,10
АН-43 *	18-22	30-36	5-9	14-18	≤ 2	17-21	2,0-5,0	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-47 *	28-33	9-13	11-18	13-17	6-10	8-13	0,5-3,0	≤ 0,05	≤ 0,08
АН-60 *	42-46	≤ 6	36-41	≤ 10	≤ 3	5-9	≤ 0,9	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-65 *	38-42	≤ 5	22-28	≤ 8	7-11	8-12	≤ 1,5	≤ 0,05	≤ 0,05
ФЦ-7	46-48	≤ 3	24-26	≤ 3	16-18	5-6	≤ 2	≤ 0,10	≤ 0,10

ФЦ-9 *	38-41	10-13	38-41	≤ 8	≤ 3	2-3	≤ 1,5	≤ 0,10	≤ 0,10
ФЦ-17	24-28	18-22	-	≤ 6,0	23-27	11-18	≤ 1,0	≤ 0,03	≤ 0,025
ФЦ-19	20-25	18-23	-	≤ 6,0	20-25	16-21	1,0-3,0	≤ 0,03	≤ 0,03
ФЦ-22	33-37	16-21	6-9	5-9	18-22	8-12	≤ 1,0	≤ 0,04	≤ 0,03
ФВТ-1	31-35	17-22	8-11	2-6	19-24	8-12	≤ 1,0	≤ 0,05	≤ 0,05
48-ОФ-6	3,5-6,0	20-24	≤ 0,3	16-20	≤ 2,0	50-60	≤ 1,0	≤ 0,025	≤ 0,025
*- відповідно до ГОСТ 9087-81 «Флюси зварювальні плавлені. Технічні умови»									
** - для значень по ГОСТ 9087-81 вміст оксидів заліза приведено в перерахунку на Fe2O3									
*** - для флюсу АН-47 вміст TiO ₂ і ZrO ₂ по масі становить відповідно 4,0-7,0% і 1,1-2,5%									
**** - для флюсу АН-65 вміст TiO ₂ і ZrO ₂ по масі становить відповідно 4,0-7,0% і 4,0-7,0%									
***** - для флюсів ФЦ-17 і ФЦ-19 вміст K ₂ O і Na ₂ O становить 5-10%, вміст Cr ₂ O ₃ - 0,5-2,0%									
***** - для флюсу ФВТ-1 вміст K ₂ O і Na ₂ O становить не більше 2,5%									

Установлюють необхідну глибину проплавлення h , мм. При одnobічному зварюванні вона дорівнює товщині S металу $h = S$, а при двосторонньому і кутовому зварюванні $h = 0,6S$.

Вибирають орієнтовно зварювальний струм з розрахунку 80 ... 100 А на 1 мм глибини проплавлення: $I_{зв} = (80 \dots 100) h$, А. Призначають напругу на дузі в діапазоні 30...40 В.

Далі визначають масу наплавленого на виріб металу. При витраті електродного дроту варто враховувати втрати на вигорання і розбризкування, які становлять 2...5 % від ваги наплавленого металу.

Діаметр електродного дроту D_e вибирають залежно від товщини металу, що зварюється (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Значення діаметра електродного дроту залежно від товщини металу, що зварюється.

S , мм	0,8...1	1,2...2	2...3	3...5	6...8
D_e , мм	0,5...0,8	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2	1,6...2

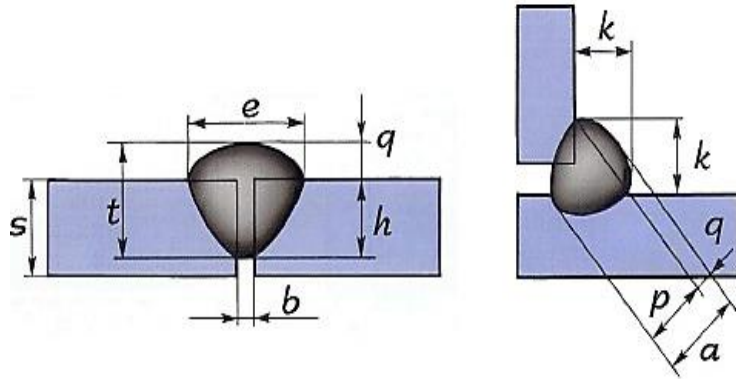
Коефіцієнт наплавлення α_n вибирають залежно від зварювального струму й діаметра електродного дроту, що становить у середньому 14...16 г/А · год.

Швидкість зварювання ($V_{зв}$, м/год) визначають із виразу:

$$V_{зв} = \alpha_n \cdot I_{зв} / \rho \cdot F_{нм}, \quad (3.1)$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення, г/А · год; ρ – густина металу, г/см³ (для сталі $\rho = 7,85$ г/см³); $F_{нм}$ – площа перетину наплавленого металу шва.

При визначенні $F_{нм}$ за основу приймаються три розміри: глибина провару - h , мм; ширина шва - L , мм і вигнутість шва - q , мм. Ці величини визначаються з коефіцієнта форми провару $\psi_{np} = L/h$ і коефіцієнта форми валика $\psi_{\epsilon} = L/q$.



Дослідним шляхом установлені величини цих коефіцієнтів. Вони становлять $\psi_{np} = 1,3 \dots 4$ і $\psi_{\epsilon} = 5 \dots 8$. Приймаємо $\psi_{np} = 3$ і $\psi_{\epsilon} = 6$. Тоді ширина шва становить

$$L = \psi_{np} \cdot h = 3 \cdot h, \text{ мм},$$

а вигнутість шва

$$q = L/\psi_{\epsilon} = 3 \cdot h/6 = h/2, \text{ мм}.$$

Площу наплавленого металу можна визначити за емпіричною формулою:

$$F_{нм} = 0,751 \cdot L \cdot q, \text{ мм}^2,$$

що в нашому випадку становить:

$$F_{нм} = 0,75 \cdot 3 \cdot h \cdot 1/2 h = 1,125 h^2, \text{ мм}^2.$$

$$h = 0,6 \cdot S,$$

де S – товщина металу, мм.

Знаючи площу наплавленого металу, густину і довжину зварених швів, визначають масу наплавленого металу за формулою:

$$G_{нм} = F_{нм} \cdot L_{\epsilon} \cdot \rho, \quad (3.2)$$

де $G_{нм}$ – маса наплавленого металу, г;

$F_{нм}$ – площа наплавленого шва, мм²;

L_{ϵ} – довжина зварних швів на виробі, см;

ρ – густина металу, г/см³.

Швидкість подачі електродного дроту розраховується за формулою:

$$V_{н.н} = \alpha_p \cdot I_{зв} / (F_{ел.др} \cdot \rho), \text{ м/год.}, \quad (3.3)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення електродного дроту, г/А·год;

$I_{зв}$ – зварювальний струм, приймають з розрахунку (80...100)А на мм товщини проплавлення (80...100)h;

$F_{ел.др}$ – площа поперечного перерізу електродного дроту;

ρ – густина металу.

Коефіцієнт розплавлення електродного дроту можна приблизно прийняти рівним коефіцієнту наплавлення, тобто 14...16 г/ А·год.

Витрати зварювального дроту визначають за формулою:

$$G_{\phi} = G_{нм} \cdot (1 + \phi), \quad (3.4)$$

де ϕ – коефіцієнт, що враховує розбризування електродного металу, $\phi = 0,05$.

Витрати флюсу визначаються за формулою:

$$G_{\varphi} = \frac{(U - 1,8) \cdot 780}{V_{36}}, \text{ г/пог. метр.} \quad (3.5)$$

Приймаємо напругу на дузі: $U = 30 \text{ В}$.

Час горіння дуги визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{G_{\text{нм}}}{I_{36} \cdot \alpha_n}, \text{ год.} \quad (3.6)$$

Повний час зварювання визначається за формулою:

$$T_0 = t_0 / k_n, \text{ год.}, \quad (3.7)$$

де k_n – коефіцієнт, що враховує використання зварювального посту $k_n = 0,6$.

Витрати електроенергії визначаються за формулою:

$$A = \frac{U \cdot I_{36}}{\eta \cdot 1000} + W_0 (T_0 - t_0), \text{ кВт}, \quad (3.8)$$

де η – ККД джерела живлення: при постійному струмі приймається в межах 0,6-0,7, при перемінному – 0,8-0,9; W_0 – потужність джерела живлення на холостому ході, кВт·год. (на постійному струмі складає 2,0...3,0 кВт, на перемінному – 0,2...0,4 кВт).

Товщина флюсу залежить від сили зварювального струму та може бути орієнтовно визначена за табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Залежність товщини флюсу від сили зварювального струму.

Зварювальний струм, А	200-400	400-800	800-1200
Товщина шару флюсу, мм	25-35	35-45	45-60

Порядок виконання роботи

1 Вивчити будову і принцип роботи устаткування для зварювання під флюсом. Зобразити схему установки з описом основних вузлів.

2 Розрахувати режим зварювання. Необхідні дані для розрахунку взяти в табл. 3.6 згідно варіанта, заданого викладачем.

Таблиця 3.6 – Завдання для розрахунку параметрів режиму зварювання.

№ варіанта	1	2	3	4	5
Товщина метала S, мм	2.6	2.8	1.0	1.2	3.0
Матеріал	ВСт3	15ГС	15Г2С	12ХН	Сталь10
№ варіанта	6	7	8	9	10
Товщина метала S, мм	4.0	5.0	6.0	2.5	1.5
Матеріал	Сталь 15	Сталь 20	Сталь 25	X18H10	X17H2

3 Отримані результати розрахунку занести в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку параметрів режиму зварювання.

№ варіанта	Діаметр електродного дроту D_e , мм	Зварювальний струм $I_{зв}$, А	Напруга на дузі U_d , В	Швидкість подачі електродного дроту $V_{пр}$, м/год.	Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год	Маса наплавленого металу $G_{н.мэ}$, г	Витрати зварювального дроту $G_{дэ}$, г	Витрати флюсу $G_{ф}$, г/пог. метр	Час горіння дуги t_0 , год.	Повний час зварювання T_0 , год.	Витрати електроенергії A , кВт

Зміст звіту

- 1 Назва й мета роботи.
- 2 Сутність особливості й застосування напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу.
- 3 Пристрій і принцип роботи установки.
- 4 Розрахунок параметрів режиму зварювання (табл. 3.7).

Завдання 1

Зобразити схему й описати сутність процесу напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу. Розробити технологічну схему зварювання конструкції зі сталі 20Х18Н10Т, рис. 3.3.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку зварювального дроту й флюсу). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрата електродного дроту й флюсу, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

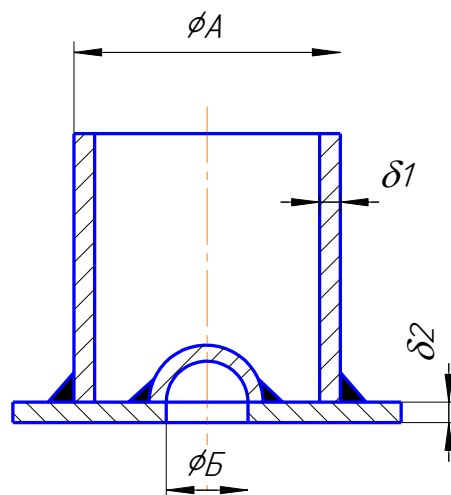


Рисунок 3.3 – Схема до завдання 1.

Таблиця 3.5 – Варіанти розрахунку до схеми завдання 1.

№	Розміри, мм			
	А	Б	δ_1	δ_2
1	800	300	8	10
2	1000	400	10	12
3	1200	500	10	12
4	850	350	8	10
5	700	250	6	8

Завдання 2

Зобразити схему й описати сутність процесу автоматичного зварювання під шаром флюсу. Розробити технологічну схему зварювання конструкції зі сталі 04Х18Н9, рис. 3.4.

Вибрати устаткування й зварювальні матеріали (марку зварювального дроту й флюсу). Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату електродного дроту й флюсу, електроенергії й час зварювання виробу. Указати методи контролю зварних швів даної конструкції.

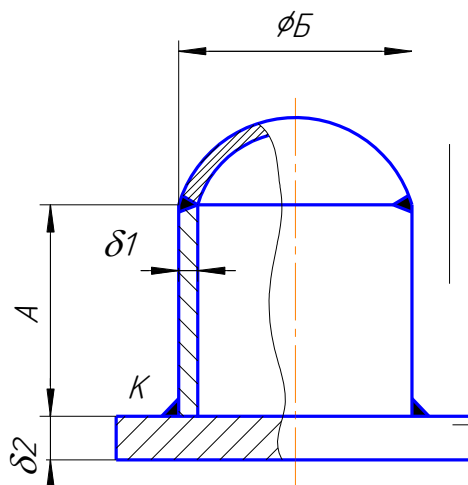


Рисунок 3.4 – Схема до завдання 2.

Таблиця 3.6 – Варіанти до завдання 2.

№	Розміри, мм				
	А	Б	К	δ_1	δ_2
1	1500	2000	6	8	15
2	1800	2500	8	10	20
3	2000	2500	8	12	20
4	2200	2800	8	12	20
5	2200	2500	8	10	20

Контрольні питання

- 1 В чому полягає сутність, особливості й застосування напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу.
- 2 Яка будова і принцип роботи установки для зварювання під флюсом.
- 3 Переваги й недоліки способу.

Розрахунок параметрів режиму та вибір матеріалів для виконання зварного з'єднання

Мета роботи: вибрати спосіб зварювання, устаткування, зварювальні матеріали й розрахувати режим зварювання для заданої зварної конструкції.

Загальні методичні вказівки

Завдання складається із етапів.

На першому етапі необхідно проаналізувати зварну конструкцію згідно завдання та вибрати оптимальний спосіб зварювання для цієї конструкції. Виконання першого включає короткий опис сутності розглянутого процесу, його технологічних особливостей.

На другому етапі слід детально розробити технологічний процес зварювання виробу, вибрати електродний матеріал, розрахувати режими зварювання.

Другий етап включає розробку схеми технологічного процесу зварювання з наведенням порядку накладення зварних швів і виду з'єднання (розробка маршруту технологічного процесу виконання зварної конструкції).

Виконати розрахунки основних технологічних параметрів режиму обраного способу зварювання відповідно до варіанта завдання, зазначеного викладачем.

Розрахунок параметрів слід виконувати в послідовності, аналогічній практичним заняттям № 1-3.

Порядок виконання роботи

1 При *ручному дуговому зварюванні* основними параметрами режиму є: діаметр електрода, зварювальний струм, напруга на дузі й швидкість зварювання.

Витрату електродів з урахуванням втрат приймають рівним 1,6...1,8 від маси наплавленого металу. Знаючи площу наплавленого металу, густину і довжину зварних швів, визначити масу наплавленого металу за формулою:

$$G = F_{\text{нм}} \cdot l \cdot \rho, \quad (4.1)$$

де G – маса наплавленого металу, г; F – площа перетину шва; l – довжина зварного шва виробу, см; ρ – густина металу, г/см³.

Кількість електроенергії, що йде на зварювання виробу, визначається:

$$Q = I_{\text{зв}} U_{\text{д}} \tau, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (4.2)$$

де τ – час зварювання, $\tau = t / \eta$, де t – час горіння дуги, год.; $\eta = 0,3...0,8$ – коефіцієнт завантаження зварника (при ручному дуговому зварюванні $\eta = 0,3...0,5$, а при автоматичному $\eta = 0,6...0,8$); $t = L / v_{\text{зв}}$, год, де L – сумарна довжина всіх швів виробу, м; $v_{\text{зв}}$ – швидкість зварювання, м/год.

2 При зварюванні в *середовищі захисних газів* електродом, що плавиться, основними параметрами режиму є: зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість зварювання, діаметр електродного дроту, швидкість подачі дроту, виліт електрода.

Витрата зварювального дроту з урахуванням втрат для напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі становить 1,08 від маси наплавленого металу, для аргано-дугового – 1,1.

3 При автоматичному зварюванні під флюсом у режим входять наступні параметри: діаметр і марка електродного дроту, зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість подачі дроту й швидкість зварювання.

Витрата електродного дроту з урахуванням втрат для зварювання під флюсом становить – 1,03.

Завдання 1

Вибрати спосіб приварювання патрубків з сталі 20 (рис. 4.1). Зобразити схему зварювання й описати сутність процесу обраного способу зварювання.

Вибрати необхідне устаткування й зварювальні матеріали. Розрахувати режим зварювання, указати рід і полярність струму. Визначити витрату зварювальних матеріалів, електроенергії й час зварювання. Указати методи контролю якості зварних швів даної конструкції.

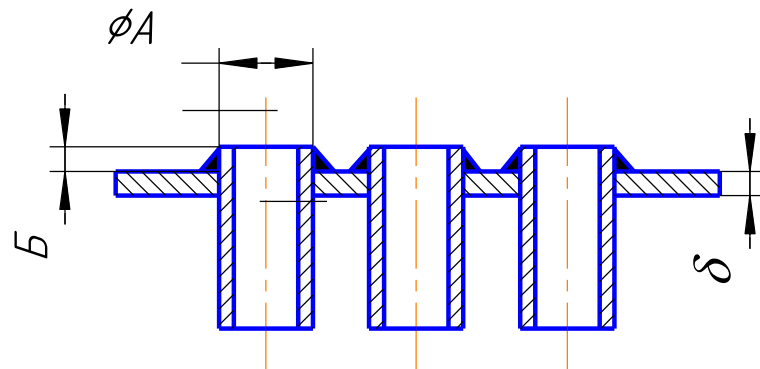


Рисунок 4.1 – Схема до завдання 1.

Таблиця 4.1 – Варіанти до завдання 1.

№	Розміри, мм		
	A	Б	δ
1	50	4	5
2	70	5	7
3	80	6	10
4	100	6	12
5	120	8	15

Вибір матеріалів при газополуменовому напилюванні покриттів

Мета роботи: вивчити технологію газополуменового напилювання. Засвоїти методику вибору матеріалів для газополуменового напилювання.

Устаткування, прилади, матеріали. Пістолет для газополуменового напилювання, балони з газом.

Короткі теоретичні відомості

Технологічний процес газополуменового нанесення покриття характеризується взаємодією чотирьох елементів:

- деталі, на поверхню якої наноситься покриття;
- матеріалу, у вигляді порошку або дроту, який наноситься у диспергованому стані;
- високотемпературного струменю газу, який отримується за допомогою за рахунок хімічної реакції горіння;
- навколишнього середовища у робочому просторі.

Для отримання якісного покриття на виробі, окрім основного етапу виробничого процесу – газополуменового нанесення покриттів, суттєву роль відіграють технологічні процеси підготовки поверхні деталі, газів, матеріалу, а також процеси обробки деталі з покриттям.

Загальна схема процесу виробництва деталей з газополуменовим покриттям показана на рис. 5.1.

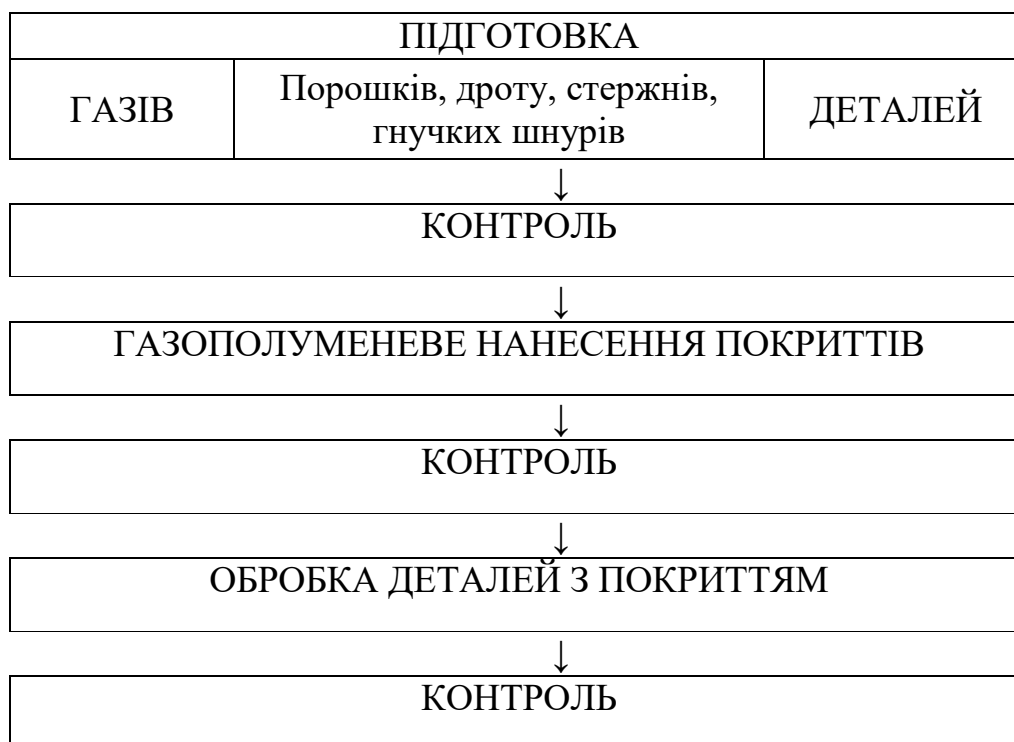


Рисунок 5.1 – Схема процесу виробництва деталей з газополуменовим покриттям.

1. Підготовка газів перед напилюванням

В технологічних процесах газополуменевого нанесення покриттів використовують кисень, пальні гази: ацетилен та замінники його (пропан бутан, метан, водень, природний газ).

При виборі пальних газів необхідно враховувати температуру їх полум'я в суміші з киснем, теплоутворюючу спроможність, швидкість горіння, оптимальне співвідношення кисню з газом у пальній суміші. Підготовка газів включає видалення мастила та вологи (наприклад, при використанні стиснутого повітря від компресора).

2. Підготовка матеріалів для напилювання

Серед матеріалів для нанесення покриттів, здебільшого, тільки порошки вимагають попередньої підготовки безпосередньо перед нанесенням покриття.

При підготовці дроту з його поверхні іноді необхідно зняти захисне мастило, яке наноситься для запобігання корозії при зберіганні.

Порошкові шнури та стрижні, як правило, готові для використання без попередньої підготовки.

Закордонні фірми постачають порошки з гарантованим хімічним і фракційним складом. Вони розфасовані в невеликі ємності, які можна з'єднати з живильником порошку газополуменевого пальника. Такі порошки, які випускаються фірмами-виробниками обладнання, не потребують попередньої підготовки.

В нашій країні, порошки для нанесення газополумених покриттів виготовляють спеціалізовані підприємства (НПО "Тулачермет", Торезський ЗНТС та ін.) і поставляють їх у негерметичній тарі, яка не запобігає окисленню та насиченню вологою порошоків.

Крім того, хімічний та фракційний склад порошоків може відхилятися в окремих партіях від зазначених у сертифікаті. Це пов'язано з низькою технологічною дисципліною на підприємствах.

У зв'язку з цим необхідно проводити вхідний контроль порошоків і попередню підготовку: відсів крупних часток, розсіювання по вузьким фракціям та ін.

Однорідність часток по масі – перша умова їх нагрівання і прискорення до визначених температур та швидкості.

Так, теплопоглинаюча поверхня частки порошку пропорційна квадрату діаметра, а її маса пропорційна кубу діаметра. Відхилення розмірів частки тільки в 2 рази може призвести до того, що маленькі частинки перегріваються і склад їх змінюється, а великі не досягнуть температури плавлення і не забезпечать необхідної міцності зчеплення з поверхнею деталі. Розсіювання порошку найчастіше виконують на приладах ситового аналізу або на класифікаторах порошку.

Найкращими розмірами часток порошоків для газополуменевого напилювання є 100...250 мкм для поліетилену, 40...100 мкм для металів і сплавів і 10...30 мкм – для орендних керамік.

Виділення розсівом вузьких фракцій дозволяє підвищити якість покриття. Форма часток порошку суттєво впливає на їх нагрівання та текучість порошку. Від останньої залежить рівномірність подачі порошку. Трохи збільшити текучість порошку можна його просушуванням протягом 1...2 год. при температурі 100...120°C.

3. Підготовка поверхні деталі

При газополуменовому нанесенні покриттів основним завданням є отримання міцного зчеплення покриттів з матеріалом основи. Незалежно від способу нанесення покриттів необхідною умовою є підготовка поверхні основного матеріалу.

У загальному вигляді процес підготовки поверхні основи містить такий комплекс операцій:

- відбір деталей, які відповідають технологічним вимогам; механічна обробка поверхні основи; знежирювання поверхні;
 - активація і формування шорсткості напилюваної поверхні; попереднє підігрівання поверхні; нанесення прошарку.
 - відбір деталей за технологічними вимогами до напилюваної поверхні.
- Конструкція поверхні деталей та виробів, які напилюються для забезпечення високої міцності, повинні відповідати деяким вимогам.

Не можна, щоб поверхні, які напилюються, мали різкі переходи.

Конфігурація напилюваної поверхні повинна гарантувати нанесення покриттів при розташуванні матеріалу основи під кутом 60...90° (в обмежених умовах не менше 30°) до осі струменя напилювання.

Наносити покриття у отворах допускається за умови, що відношення діаметра отвору до його глибини буде не менше двох.

На поверхнях, на які наноситься покриття, не повинно бути зварювальних краплин, напливів паяння, пропалів, залишків флюсу, раковин, тріщин і т. ін.

3.1. Попередня механічна обробка поверхні. Деталі, конструкції та вироби, які не задовольнили вхідний контроль на технологічні вимоги до поверхні, повинні пройти механічну обробку.

Попередню механічну обробку також проводять при відновленні зношених деталей, конструкцій та виробів.

Механічна обробка здійснюється на серійному металорізальному обладнанні.

Товщина шару, який знімається при механічній обробці, обмежується товщиною напилюваного шару за винятком припуску на обробку покриття.

3.2 Знежирювання поверхні. Як правило, на поверхні кожної деталі є забруднення.

З точки зору технологічної підготовки, поверхні забруднення за міцністю їх зчеплення з основою можна поділити на два основних види: механічно- і хімічно- не зв'язані з поверхнею основного матеріалу.

До перших належать:

- неорганічні забруднення слабо пов'язані з поверхнею (вода, пил, стружка, пісок, глина і т. ін.); механічно шаржовані у поверхню (зерна абразивів), осаджені на поверхні (сольові кірки, накип), сплавлені з поверхнею або затверділі з розплаву (флюси, зварювальний шлак, скло);
- органічні забруднення слабо пов'язані з поверхнею (сажа, вугілля, кокс, пластмаса);
- з невеликою адгезією до поверхні (мастильні плівки, шліфувальні, полірувальні, пасти);
- міцно зв'язані з поверхнею (лаки, смоли, клеї, фарби).

До другого виду належать оксиди та їх гідрати (іржа, продукти корозії кольорових металів), оксиди, які утворилися завдяки термічній обробці, оксидні покриття (анодування), солі і їм подібні з'єднання (карбонати, фосфати, силікати).

Залежно від попередніх технологічних операцій характер забруднення змінюється і видалення його перед напилюванням вимагає свого технологічного рішення.

Забруднення поверхні всіх видів є бар'єром, який заважає контакту часток напилюваного матеріалу та матеріалу основи.

Одним з методів усунення забруднення є знежирювання поверхні. Знежирювання поверхні деталей, конструкцій та виробів може здійснюватись органічними розчинниками, миючими засобами, лужними розчинниками та різними емульсіями.

Для знежирювання поверхні перед газополуменевим нанесенням покриттів рекомендується використовувати миючі засоби, тому що органічні розчинники токсичні і мають обмежене використання.

Для зняття шліфувальних та полірувальних паст з металів і сплавів найчастіше використовуються миючі засоби ТМС-31 або "Деталін" при температурі процесу 60-80°C протягом 3-10 хв. Робочі консерваційні мастила та інші жирові забруднення знімаються на сталях розчином їдкого натру (5-15 кг/м³ тринатрій фосфату (15-35 кг/м³), кальцинованої соди (15-35 кг/м³), сітанолом ДС-10 (3-5 кг/м³) при температурі 60-80°C протягом 3-20 хв., на алюмінії та його сплавах розчином їдкого натру (8-12 кг/м³), тринатрій фосфату (20-25 кг/м³) рідкого скла (25-30 кг/м³) при температурі 40-70°C протягом 3-10 хв.

Операції знежирювання повинні мати таку послідовність:

- укласти партії деталей у корзину;
- знежирити деталі;
- підняти кошик над ванною і утримувати його до повного стікання розчину з деталей;
- перекласти деталі з кошика на стіл.

Для інтенсифікації процесу видалення вологи деталі можна обдути стиснутим повітрям під тиском 0,1...0,3 МПа.

В технічно-обґрунтованих випадках можна здійснювати знежирювання за допомогою щіток та протирального матеріалу, випалювання газовим пальником або у муфельних печах при температурах 260-530°C протягом 2...3 год.

Неметалеві матеріали (тканини, гіпс, пластмаси) необхідно просувати при температурі 50...70°C у сушильній шафі протягом 3...5 год.

3.3. Активація і створення шорсткості напилюваної поверхні.

Основними вимогами до параметрів деталі безпосередньо перед напилюванням є відсутність забруднення напилюваної поверхні, мінімальна товщина оксидних плівок на поверхні, визначені рівні шорсткості і наклепу приповерхневого шару деталі.

Всі способи підготовки поверхні перед нанесенням покриттів спрямовані на усунення факторів, які є перешкодою зчепленню матеріалу, який наноситься на поверхню основи, та активацію поверхні основного матеріалу.

Головні способи активації хімічних процесів шляхом дії на матеріал основи – це підвищення температури, утворення напруженого стану поверхні – наклеп, збільшення шорсткості поверхні.

Підвищення температури підложки призводить до збільшення внутрішньої енергії атомів і молекул, яка досягає значення, необхідного для здійснення хімічної реакції

Створення напруженого стану поверхні (наклепу) призводить до акумулювання енергії на поверхні в результаті пластичної деформації і, як наслідок, підвищенню міцності зчеплення.

Підвищення шорсткості поверхні пов'язано з утворенням на ній рельєфного шару в результаті механічного або хімічного руйнування поверхні основи.

Внаслідок цього збільшується кількість з'єднань з рідкою частинкою, яка напилюється, підвищується робота адгезії, а разом з тим і міцність з'єднання.

За дією на поверхню деталі всі способи її активації можна поділити на механічні, хімічні та термічні.

Механічні способи можна поділити на три види:

- обробка поверхні струменем газу (обдування);
- обробка поверхні струменем рідини;
- обробка поверхні твердим матеріалом, який може бути компактним (різець, ролик) або дискретним (щітка, зерна абразиву).

Хімічні способи підготовки поверхні здійснюються в основному дією рідини, яка може поділятися на органічні та неорганічні (кислоти, луги, солі) реагенти.

В термічних способах підготовки поверхні в якості діючого середовища може бути використаний нагрітий газ (нерухомий та рухомий), іонізований газ (йони, електрони), випромінювання (фотони) від інфрачервоного до ультрафіолетового діапазону (світловий промінь, лазер).

Спосіб активації і утворення шорсткості поверхні залежить від матеріалу та товщини стінки деталі, конструкції виробу, товщини шару покриття, конфігурації поверхні, умов експлуатації.

Підготовку поверхні деталей конструкції або виробу з товщиною стінки менше 0,5 мм доцільно здійснювати травленням.

При товщині стінки більше 0,5 мм активацію слід здійснювати струменево-абразивною обробкою. Підготовку деталей циліндричної форми, які працюють при підвищених механічних навантаженнях, особливо при зрізаючих, при твердості поверхні не більше HRC 40 доцільно здійснювати механічною обробкою.

При підготовці деталей з твердістю поверхні більше HRC 40 механічну обробку можна проводити після попереднього відпалювання, якщо воно допускається. У разі неможливості проведення попереднього відпалювання, підготовку основи з твердістю HRC 50 рекомендується здійснювати струменево-абразивною обробкою електрокорундом крупної фракції при підвищеному тиску стиснутого повітря або електроіскровою підготовкою.

Універсальним способом серед поширених методів активації поверхні є *струменево-абразивна* обробка матеріалу основи.

Результат дії потоку часток абразиву на поверхню матеріалу визначається пластичними та акустичними властивостями як перешкод так і часток, а також направленням та енергією удару. Ударна дія твердої частки на поверхню основи супроводжується генерацією хвиль напружень, які утворюють поле динамічних напружень, під дією якого перешкода пластично деформується і руйнується, що визначає зміну властивостей поверхні основи. Поведінка перешкоди під дією удару часток задовільно пояснюється теорією пружно-пластичного удару. Впровадження твердої частки у поверхню основи супроводжується генеруванням пружних та пружно-пластичних хвиль напруги. Матеріал перешкоди руйнується під дією поля розтягуючих напружень, які утворюються пружними хвилями, при цьому виникають радіальні, конічні, а потім і поперечні тріщини. Максимальні пошкодження з'являються на кордоні пружної і пластичної зони, поблизу стінок кратеру, в тому числі у валиках витисненого матеріалу та на деякій глибині під поверхнею.

Внаслідок наведених вище процесів поверхня основи набуває мікрорельєфу і характеризується високою густиною дислокацій та наявністю великої кількості мікротріщин. Можливе забруднення поверхні матеріалом зруйнованих часток абразиву.

Для забезпечення високих технологічних показників процесу очищення абразивні методи повинні відповідати таким вимогам: фізико-механічні властивості абразивних зерен повинні відповідати матеріалу очищеної поверхні та вимогам технологічного процесу щодо якості поверхні. Абразив повинен забезпечувати високу продуктивність процесу при достатньо високій зносостійкості.

При проведенні струменево-абразивної підготовки поверхні основи необхідно враховувати матеріал деталі (твердість, в'язкість), умови її експлуатації та твердість поверхні до HRC 40, рекомендується використовувати абразив шліфзерно електрокорунду марок 12А, 13А, 14А, зернистістю 63Н та 63П.

При твердості більше ніж HRC 40 шліфзерно – 80П, 80Н, 100Н та 100П.

Для активації поверхні з твердістю не більше HRC 40 дозволяється використовувати металевий дріб ДСК (ДКЧ) № 01, 02, 03, 04, 05, 08, 15 зернистістю 0,5...1,5 мм.

Металевий абразив повинен бути знежирений, без іржі та забруднень. Зберігатися в умовах, які забезпечують захист його від корозії, забруднення мастилом, брудом.

Не рекомендується використовувати металевий абразив при підготовці деталей та конструкцій з міді, мідних сплавів та інших матеріалів з великою в'язкістю при нанесенні жаростійких та корозійностійких покриттів.

Для забезпечення високої якості підготовки поверхні при струменевій абразивній підготовці необхідно здійснювати періодичну заміну металевого дробу та вилучення розкришених часток електрокорунду. Середній термін використання електрокорунду 10-30 повторних циклів використання абразиву при незворотніх втратах 3,0-5,0 кг/год., металевого дробу 60-100 циклів при втратах 1,0-3,0 кг/год.

Оптимальні режими струменево-абразивної підготовки наведені в табл. 5.1. Для всіх матеріалів, наведених у таблиці, обробка здійснюється у два етапи при швидкості подачі 4...6 мм на оберт та витраті стиснутого повітря 1,6...4 м³/хв. діаметру сопла 8... 14 мм, мінімальний кут падіння струменя 30°.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані режими струменево-абразивної обробки.

Параметр	Матеріал основи					
	Чавун	Сталь HRC ≤ 40	Сталь HRC > 40	Алюмінієві сплави	Титанові сплави	Неметалеві матеріали
Фракція абразиву, мм	0,8...1,0	0,8...1,5	0,8...1,5	0,6...0,8	0,6...0,8	0,2...1,0
Вид абразиву	Дріб, електрокорунд	Дріб, електрокорунд	Електрокорунд	Електрокорунд	Електрокорунд	Дріб, електрокорунд
Тиск стиснутого повітря, МПа	0,5...0,6	0,4...0,6	не нижче 0,6	0,4...0,6	0,4...0,6	0,1...0,3
Відстань від сопла до поверхні, мм	50-120	50-120	40-120	100-120	100-120	100-120
Кут падіння струменя на поверхню, град.	90	90...60	90...60	90...60	90...60	90...60
Лінійна швидкість переміщення пістолета, мм/хв.	50...600	50...400	50...400	250...600	250...600	250...600

Під час підготовки поверхні під напилювання рекомендується формувати шорсткість з висотою мікровиступів R_z , що дорівнюють трьом чвертям часток напилюваного матеріалу. Залежно від матеріалу основи це повинно становити: $R_z = 10...160$ мкм.

Для запобігання деформаціям виробів з товщиною стінки менше 2 мм необхідно використовувати спеціальні пристосування.

Поверхні деталей, конструкцій виробів які не обробляються, повинні бути захищені від дії абразивних часток екранами з металу або іншого абразивно-стійкого матеріалу, наприклад гуми, фторопласту і т. ін.

Зона струменево-абразивної обробки повинна бути більша за зону напилювання покриттів на 2...3 мм з кожної сторони.

Після струменево-абразивної обробки активована поверхня повинна бути обдута стиснутим повітрям не нижче першої ступені забрудненості за ДСТУ.

До інших способів абразивної підготовки поверхні належить гідроабразивна обробка, при якій абразив знаходиться у виваженому стані у рідинному середовищі, що запобігає попаданню пилу у робоче приміщення. При обробці цим способом продуктивність зменшується порівняно з дробоструменевою обробкою.

До абразивної підготовки поверхні належить очистка металевими щітками, при якій знімається шар 0,5...2 мм та забезпечується висока якість поверхні з шорсткістю 10...50 мкм.

Зануренням деталі (труби) у псевдорідкий шар абразиву видаляють окалину, іржу та забруднення, одночасно нагріваючи трубу до 200...300°C перед нанесенням покриттів.

При напилюванні покриттів на деталі циліндричної форми з напиленим шаром менше 1 мм, які при експлуатації витримують підвищені механічні навантаження, особливо зрізуючі, рекомендується спосіб формування шорсткості шляхом нанесення «рваної» різьби.

Не рекомендується проводити підготовку поверхні шляхом нанесення «рваної» різьби на деталі, які працюють в умовах знакозмінного динамічного навантаження, а також при поверхневій твердості більше ніж HRC 40.

Нарізання «рваної» різьби здійснюють на звичайному токарному верстаті спеціально загостреним різцем, встановленим зі збільшеним вильотом, без охолоджувальної рідини на режимах, які забезпечують гострокутний профіль.

До хімічної підготовки поверхні належить травлення. Обробку поверхні травленням здійснюють при товщині стінки менше 0,5 мм. Травлення поверхні основи здійснюють після знежирювання. Після закінчення травлення розчин змивають водою. Сушіння, якщо воно потрібне, проводять після промивання та нейтралізації у сушильних шафах при 60...150°C

У разі підготовки деталей з поверхневою твердістю більше HRC 50, якщо не можливо обробити струменево-абразивним способом або механічною обробкою, дозволяється активувати зону напилювання електроіскровою обробкою.

Сталеву основу деталі обробляють електродами з нікелю або його сплавів. У разі підготовки поверхні виробів з алюмінію використовують алюмінієві електроди.

Активацію поверхні здійснюють після знежирювання на грубих режимах для забезпечення необхідної шорсткості.

З метою термічної активації знежиреної шорсткості поверхні деталі, безпосередньо перед нанесенням покриттів дозволяється здійснити попереднє підігрівання (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Температура попереднього підігрівання основи.

Матеріал основи	Дозволена температура підігріву, °C
Сталь	150
Мідь та її сплави	50
Нікель та його сплави	180
Титан та його сплави	100
Алюміній та його сплави	100

Попереднє підігрівання до більш високих температур дозволяється здійснювати в камерах з контрольованою атмосферою або у динамічному вакуумі.

Один із способів термічної активації поверхні металу – активація поверхні променем лазера. У крупногабаритних деталях дозволяється гріти основу газовим полум'ям або струменем плазми з апаратів для напилювання. Попереднє нагрівання обов'язкове у випадках вимушеної перерви технологічного процесу напилювання.

3.4. Нанесення прошарку.

Нанесення прошарку (підшару) є способом підготовки деталі перед нанесенням основного покриття.

Напилювання прошарку рекомендується у випадках нанесення покриттів, в яких коефіцієнт термічного розширення відрізняється від матеріалу деталі, яка працює в умовах змінного динамічного або теплового навантаження, а також в умовах корозійного середовища.

Для прошарку необхідно використовувати метали та сплави, які характеризуються пластичністю та високою міцністю зчеплення з основою та основним шаром покриття. При виборі матеріалу прошарку необхідно враховувати граничні температури експлуатації в окислюючому середовищі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Матеріали для нанесення прошарку.

Матеріал прошарку (марка порошку)	Орієнтовні граничні температури експлуатації покриттів, °C
ПН55Т45	200
МПЧ(молібден)	315
ПТ88Н12	500
ПРХ18Н9	500
ПТ-НА-01	1000
ПТ-Ю5Н	1000
ПХ20Н80	1200
ПН82Ю15	1300
ПН65Ю35	1300
ПН70Ю30	1500

Комбінації матеріалів прошарку, основи та основного шару покриттів необхідно вибирати таким чином, щоб уникнути корозії. Прошарок необхідно наносити на попередньо знежирену активовану поверхню. Товщина шару повинна бути в межах 0,05...0,15 мм.

3.5 Зберігання та контроль якості підготовлених деталей.

Деталі, які готуються до нанесення газополумених покриттів, починаючи зі стадії знежирювання до нанесення останнього, експлуатаційного шару покриття, повинні знаходитись у приміщенні з температурою не нижче плюс 10°C та відносній вологості не вище 70% (краще 60%), щоб не утворювався конденсат на поверхні.

Повітря у приміщенні підготування деталей до напилювання не повинно мати корозійно-активних реагентів, парів мастила, пилу.

Після стадії знежирювання до закінчення процесу підготовки поверхні не можна торкатися поверхні руками та забрудненим інструментом. Необхідно працювати у рукавичках та використовувати чистий, знежирений інструмент.

Якщо неможливо нанести покриття безпосередньо після підготовки, оброблену поверхню необхідно покрити чистою поліетиленовою плівкою, для запобігання потрапляння на неї мастила, вологи, пилу.

Проміжок часу зберігання деталей з підготовленою поверхнею перед нанесенням прошарку не повинен перевищувати:

- у закритих приміщеннях – 8 год.
- на відкритому повітрі у суху погоду – 3 год.
- під навісом у сиру погоду – 0,5 год.

При підготовці поверхонь, які швидко окислюються (наприклад, алюміній), перерва в часі допускається не більш однієї години.

Важливим завданням у технологічному процесі обробки основного матеріалу є контроль якості підготовки поверхні. Всі матеріали для знежирювання, активування, формування шорсткості, нанесення прошарку повинні відповідати вимогам стандартів та технічним умовам. Шорсткість контролюється комбінованими профілографами-профілометрами. Оцінка ступеня чистоти поверхні здійснюється співставленням обробленої поверхні з еталоном.

Є спосіб візуального контролю по очищенню маркувальної фарби з поверхні.

Оцінку якості обробки поверхні можна вести і за зміною кривизни поверхні зразка після дробоструменевої обробки та співставленні його з еталоном.

4. Вибір матеріалу для напилювання покриття

Для газополуменового напилювання застосовують порошки з різних матеріалів із частками розміром 5...200 мкм. Порошки для газополуменового напилювання повинні забезпечувати рівномірну надійну подачу матеріалу в газовий струмінь, а також можливість досягнення частками швидкості й температури, необхідних для формування покриття із заданими властивостями.

Основними характеристиками, що визначають якість порошку для газополуменового напилювання, є текучість, мінімальний і максимальний розміри

часток, їх форма й схильність до взаємної адгезії (злипання), стабільність гранулометричного й хімічного складів.

Для одержання зносостійких покриттів можуть застосовуватися наступні групи порошків.

4.1. Порошки із самофлюсуючих сплавів на нікелевій, нікель-хромовій і кобальтовій основах широко застосовуються для газополуменового напилювання з наступним оплавленням покриттів. Надають комплекс експлуатаційних властивостей: зносостійкість, ерозійну, корозійну стійкість, задовільно протистоять високотемпературному окислюванню. Недоліки – висока вартість і дефіцит основних компонентів сплавів (табл. 5.4).

4.2. Порошки з металевих сплавів. Широке поширення одержали алюмініди нікелю, ніхром, сплави нікелю з титаном, корозійностійкі сталі й сплави на залізній і мідній основах (табл. 5.5).

Таблиця 5.4 – Порошки для напилювання зносостійких покриттів з самофлюсуючих сплавів.

Марка	Система легування	Твердість	Область застосування	Завод-виробник
ПН-77Х15С3Р2 ПН-73Х16С3Р3 ПН-70Х16С3Р4 ПН-65Х25С3Р3 ПН-68Х21С3Р3	Ni-Cr-B-Si	35...45 45...55 ≥55 50...55 ≥40	Відновлення та зміцнення деталей, що працюють в умовах ударних навантажень, абразиву, агресивних середовищ	«Тула-чермет»
ПГ-12Н-02 ПГ-12Н-03 ПГ-АН4 ПГ-АН6 ПГ-АН8	Ni-Cr-B-Si-Fe-C	45...50 55...62 35...65	Деталі гідросистем, направляючі ролики, поршні і вали, сидла клапанів ДВЗ. Захист від зношування.	ТЗНТС за ліцензією фірми «Кастолін». Інститут електрозварювання ім. Патона АН України

Таблиця 5.5 – Сплави металів для напилювання зносостійких покриттів.

Марка	Система легування	Твердість	Область застосування	Завод-виробник
ПН851015	Ni-Al	40 HRC	Відновлення посадочних місць валів	«Тула-чермет»
ПН55Т45	Ni-Ti	55...60 HRC	Відновлення поверхонь деталей, що труться, при безударних навантаженнях	Те ж
ПТ88Н12	Ti-Ni	55...60 HRC	Зносостійкі та антикорозійні покриття	Те ж

ПР-18Х16Н8Ф3ТЗР	Fe-Cr-Ni-C	До 55 HRC	Зносостійкі та корозійностійкі покриття	
ПР-10Г10Т11Р5	Fe-Ti-Mn-	До 55HRC	Зносостійкі та корозійностійкі покриття	
ПР-29Х14Ф12Ю	B-C Fe-Cr-V-C-Al	До 55HRC	Зносостійкі та корозійностійкі покриття	
ПТ-19Н-01	(Ni-Cr-B-Si-C) Ядро алюмінієве	20...40HRC	Захист від зношування при терті металу об метал	ТЗНТС
ПГ-19Н-01	Ni-Cr-Si-Fe	74...82 НВ	Деталі що працюють в умовах тертя ковзання	
Полімам, церамам	Fe-C-Si-Al (Ti)	280...300НВ	Універсальні зносостійкі покриття при терті металу об метал	Інститут проблем матеріалознавства АН України

4.3. Порошки із карбідів та оксидів металів. Тугоплавкі з'єднання застосовуються, в основному, з підшарами з металічних порошків. Тільки детонаційне напилювання дозволяє наносити робочі шари декількох покриттів без підшарів. Основні марки тугоплавких порошків для напилювання та область їх застосування наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Порошки оксидів та карбідів металів для газополуменевого напилювання

Тип порошку	Склад, %	Твердість покриття, HRC	Призначення
Оксид алюмінію, електрокорунд білий	Глинозем, корунд	40...65 40...65	Захист від зношування при невисоких температурах абразивними частинками та твердими поверхнями
Оксиди алюмінію - титану	TiO ₂	50...70	Захист від зношування абразивом, при ерозії для виготовлення твердих підшипникових покриттів
Оксид хрому	Cr ₂ O ₃ (97...99)	65...72	Теж саме
Карбід хрому	Cr ₂ C ₃	37...40	Захист від зношування при підвищеній темпера турі
Карбід титану	Cr ₂ C ₆ C (19,35...19,7)	-	Захист від зношування при низьких температурах

Карбід вольфраму	3,8...4,2C	-	Теж саме
Карбід хрому- оксид алюмінію	Al ₂ O ₃ 42...50	-	Теж саме

4.4. *Механічні суміші порошків.* Суміші на основі перерахованих вище груп порошків знаходять все більше застосування для газополуменового напилювання завдяки простоті й невисокій вартості їхнього виготовлення. Однак використання сумішей порошків має істотні недоліки, головним з яких є сегрегація компонентів при змішуванні, транспортуванні з дозуючих пристроїв у струмінь, а також у процесі напилювання. Сегрегація компонентів сумішей призводить до нерівномірності структури покриття, збільшення пористості, зниження міцності й погіршення експлуатаційних характеристик покриття. Механічні суміші не піддаються стандартизації, тому їх склади, як правило, підбираються дослідним шляхом. Особливих способів приготування такі суміші не вимагають. Вони можуть перемішуватися на будь-якому устаткуванні або спікатися з наступним дробленням.

Механічні суміші порошків використовуються для одержання сплавів, а також нанесення композиційних покриттів.

Як приклад суміші для одержання зносостійкого металевого сплаву може служити суміш самофлюсуючого порошку на нікелевій основі з молібденом (30% Мо). Твердість одержуваного покриття 40...54 HRC. Механічні суміші порошків, що випускаються промисловістю, для одержання композиційних покриттів представлені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Механічні суміші порошків для отримання композиційних покриттів.

Матеріал	Марка	Склад, %	Завод-виготівник
Нікелевий самофлюсуючийся сплав+карбід вольфраму	ВСНГН-35 ВСНГН-80 ПС-10НВК-01 ПС-12НВК-01	35...80WC 35...80WC 60WC	ТЗНТС ТЗНТС
Ніхром+карбід хрому	ПС-85КХ+15Х20Н80 ИС-75КХ+25Х20Н80 ПС-65КХ+35Х20Н80	85%Cr ₂ C ₃ +15%ніхрому 75%Cr ₂ C ₃ +25%ніхрому 65%Cr ₂ C ₃ +25%ніхром	«Тула-чермет»
Нікель-алюмінієвий порошок+карбід хрому	ПС-85КХ+15Ю5Н ПС-70КХ+30Ю5Н	85%Cr ₂ C ₃ + 15%(Ni-Al) 70%Cr ₂ C ₃ + 30%(Ni-Al)	ТЗНТС
Кобальт+карбід вольфраму	ВК-25	75WC+25Co	

4.5. Гнучкі порошкові дроти (шнури) і прутки

Гнучкі порошкові дроти (шнури) – порівняно новий матеріал для газополуменового напилювання, що представляє собою тонку оболонку з органічного матеріалу, заповнену порошками сплавів, карбідів, керметів і інших матеріалів у чистому вигляді або з мінеральною добавкою зв'язуючих матеріалів. У процесі напилювання оболонка згорає, не забруднюючи покриття.

Створене спільне російсько-французьке підприємство "Техникорд" спеціалізується на випуску гнучких шнурів типу "Сфекорд". Шнури поставляють у котушках. Для їх напилювання використовують дротові газополуменеві пістолети. Марки шнурів для одержання зносостійких покриттів представлені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Шнури для зносостійких покриттів.

Позначення	Матеріал	Твердість	Точка плавлення	Інструмент для обробки	Властивості
21001147	Окис алюмінію	1195HV	2050 ⁰ C	Наждачний круг із карбіду кремнію, алмаз	Гарний діелектрик, висока корозійна стійкість
21001147	Сірий корунд	1019HV	2050 ⁰ C 3690 ⁰ F	Теж саме	Висока корозійна та абразивна стійкість, зносостійкість при високій температурі
21001147	Окис хрому	Дві фази 1000HV 1770HV	2435 ⁰ C 4385 ⁰ F	Алмаз	Висока абразивна стійкість і коефіцієнт тертя
1021047	Окис титану	804HV	1910 ⁰ C 3438 ⁰ F	Наждачний круг із карбіду кремнію	Низький коефіцієнт тертя та добра електропровідність
21060187	Ніалід	25 HRC	1500 ⁰ C 2700 ⁰ F	Вуглецевий інструмент	Висока зчеплюваність
21072047	Сплави, що самі плавляться – основа нікель ROCDUR 47	30...40 HRC	1000 ⁰ C 1400 ⁰ F	Теж саме	Висока корозійна стійкість при нагріванні до 650 ⁰ C
21071147	ROCDUR 67	57-60 HRC	1000 ⁰ C 1400 ⁰ F	Наждачний круг із карбіду кремнію	Висока корозійна та абразивна стійкість
21075147	Сплави, що самі плавляться – основа кобальт	45 HRC	1200 ⁰ C 1680 ⁰ F	Вуглецевий інструмент	Висока корозійна стійкість, при високій температурі

21074047	Сплави, що самі плавляться – основа кобальт	57HRC	1200 ⁰ C 1680 ⁰ F	Наждачний круг із карбіду кремнію	Висока корозійна та абразивна стійкість, зносостійкість при високій температурі
21070447	Карбід вольфраму ROCDUR 6750 (матриця – нікель)	57HRC	1000 ⁰ C 1400 ⁰ F	Алмазний круг	Дуже висока абразивна стійкість
21004247	Чорний корунд	1010HV	1848 ⁰ C 3312 ⁰ F	Карбід кремнію	Добра зносостійкість, опір кислотам, невелика пористість
21006047	Мулїт	770HV	1820 ⁰ C 3270 ⁰ F	Карбід кремнію	Дуже гарний діелектрик, стійкість до змочування розплавленим металом, дуже висока стійкість до високих температур
21007047	Шпінель	1000HV	2100 ⁰ C 3780 ⁰ F	Карбід кремнію	Електроізолятор Висока абразивна стійкість
21016147	Цирконат кальцію	750HV	2330 ⁰ C 4194 ⁰ F	Карбід кремнію	Тепловий бар'єр
21012047	Цирконій	900HV	1650 ⁰ C	Карбід кремнію	Те ж

На закордонному ринку пропонуються матеріали для напилювання у вигляді прутків, пресованих з оксидів металів. Зазвичай оксиди одержують у вигляді порошку, тому для виготовлення прутків застосовують методи порошкової металургії. У порошок додають зв'язуючі матеріали, потім пресують і спікають.

Прутковий напилюваний матеріал марки «*Rokide*» розроблений американською фірмою «Norton». Для газополуменового напилювання поставляють кілька наступних сортів прутків під цією назвою, що відрізняються за складом: "*Rokide A*" — оксид алюмінію (глинозем), "*Rokide ZC*" – силікат цирконію, "*Rokide Z*" діоксид цирконію, "*Rokide 3*" – оксид хрому, "*Rokide MA*" – магнезійна шпінель.

Фірма «Interweld» (Австрія) пропонує для газополуменового напилювання зносостійких покриттів пістолетом «Mogul Turbojet R3» прутки з керамічних порошків (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Керамічні прутки (стрижні) для газополуменового напилення.

Марка матеріалу	Хімічний сплав	Застосування
CR 80A KR 98ZA SR 70B ZS 67ZA KP 80ZB Mo 64A	Cr ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ MgAl ₂ O ₃ +TiO ₂ ZrSiO 3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂ MgO ₂ +Al ₂ O ₃	Підвищення зносостійкості та теплопровідності. Захист від зношування, корозії, ерозії. Забезпечення стійкості до ударів та теплоізоляція.

5. Нанесення покриттів газополуменевим напилюванням

Газополуменевий спосіб напилювання покриттів складається з формування на поверхні виробу шару з часток напилюваного матеріалу, які мають достатній запас теплової та кінетичної енергії внаслідок взаємодії зі струменем газового полум'я. Його рекомендують для напилювання покриттів порошків та дротів, виготовлених з металів, сплавів, композицій, оксидів і т. ін. (рис. 5.2, 5.3).

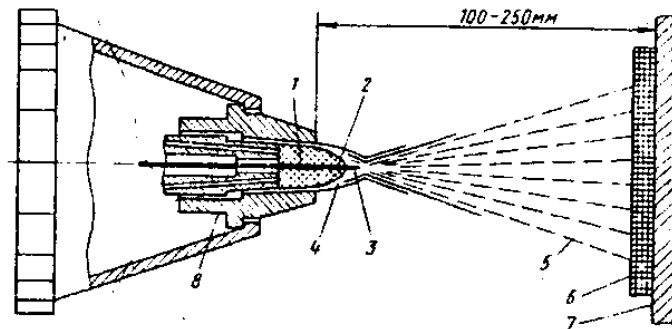


Рисунок 5.2 – Газополуменеве напилювання дротом: 1 – дріт; 2 – полум'я; 3 – кінець дроту, який оплавляється; 4 – повітряний струмінь; 5 – частинки металу; 6 – покриття 7 – основа; 8 – насадка.

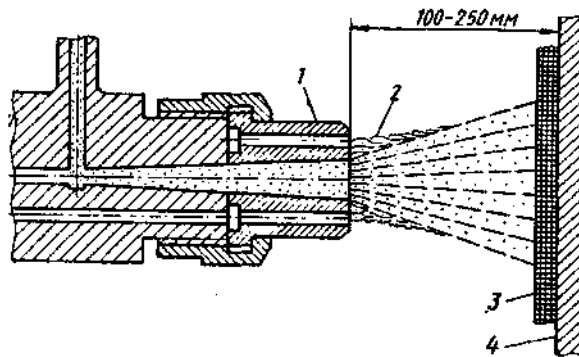


Рисунок 5.3 – Газополуменеве напилювання порошкового матеріалу: 1 – сопло; 2 – факел полум'я; 3 – покриття; 4 – основа.

Температура струменя ацетилено-кисневого полум'я 3200°C , швидкість струменя 150...160 м/с. Швидкість часток напилюваного матеріалу залежить від відношення кисню та пального газу в суміші, кількості газу, який обдуває полум'я, відстані від зрізу сопла, кількості порошку, який вдувається у полум'я, щільності, гранулометричного складу і т.ін., і знаходиться в межах 20...80 м/с.

Матеріал, який використовується для газополуменевого напилювання не повинен розкладатися та розганятися і повинен мати достатню різницю між температурою плавлення та кипіння (більше ніж $150\ldots250^{\circ}\text{C}$).

Основні переваги газополуменевого нанесення покриттів:

1. Можливість отримання покриттів із матеріалів, які плавляться при температурі до 2800°C без розпадання.

2. Відносно мала тепла дія на основу (в межах $150^{\circ}\text{C}\ldots350^{\circ}\text{C}$), що дозволяє наносити покриття на поверхні великого асортименту матеріалів, включаючи пластмасу, деревину, тощо.

3. Товщина покриття може бути від 50 мкм до 10 мм (раціонально 0,2...1,0 мм – 4,0 мм).

4. Можливість регулювання складу пальної суміші, яка подається у пальник,

дозволяє керувати хімічним складом продуктів згорання (нормальне, окислююче, і відновне полум'я) та енергетичними характеристиками струменя та напилюваних часток.

5. Висока продуктивність процесу (до 10 кг/год.). Наприклад, для порошків самофлюсуючих сплавів титану при витраті ацетилену 0,9 м³/год продуктивність 8...10 кг/год. при коефіцієнті використання матеріалу 0,6-0,95.

6. Можливість нанесення покриттів на вироби практично без обмежень їх розмірів за наявності необхідного пристосування для механізації робіт та виконання правил техніки безпеки.

7. Відносно низький рівень шуму та випромінювання.

8. Можливість у більшості випадків нанесення покриттів у всіх просторових положеннях апарату.

9. Простота обслуговування.

10. Гнучкість технології та мобільність обладнання, що дозволяє виконувати напилювання на місці без демонтажу виробів.

Основними недоліками газополуменового способу нанесення покриттів є:

- не у всіх випадках забезпечується достатня міцність зчеплення покриттів з основою (5...45 МПа) при випробуванні на нормальне відривання;

- наявність пористості (частіше за все 5-25%), яка є перешкодою використанню покриттів у корозійному середовищі без додаткової обробки;

- невисокий коефіцієнт використання теплової енергії газополуменового нагрівання порошку (2...12%);

- неможливість нанесення покриттів з тугоплавких матеріалів з температурою плавлення більше 2800°C.

5.1. Визачення режимів газополуменового нанесення покриття

Напилювання покриттів проводять у послідовності, яка визначається обладнанням, оснащенням та ступенем їх механізації та автоматизації.

В деяких випадках, для підвищення міцності зчеплення використовується попереднє нагрівання у сушильній шафі до температур 340...450°C. Попереднє підігрівання обов'язкове при вимушеній перерві операції напилювання.

Напилювання здійснюється безпосередньо після підігрівання виробу.

При напилюванні покриттів з дуже відмінними коефіцієнтами термічного розширення, під час роботи виробів в умовах змінних температур, необхідно напилювання прошарку (підшарку), товщиною 0,05...0,15 мм.

Напилювання основного шару покриття здійснюється одразу після підготовки поверхні, включаючи попереднє підігрівання та напилювання прошарку.

Найбільш вагомими параметрами режиму газополуменового нанесення покриття є: витрати та тиск кисню, пального та транспортуючого газу, відношення кисню до пального газу.

Всі технологічні параметри, які наведені в технічній літературі, як правило належать до конкретного устаткування для напилювання та матеріалів, які використовуються. В кожному конкретному випадку вони вимагають корегування.

Частіш за все, для цього використовуються математичні методи планування експерименту та оптимізації технологічних процесів.

Для вхідних даних при плануванні експерименту та оптимізації технологічних процесів можна використати такі середні статистичні дані рекомендовані в різних технічних літературних джерелах.

а) *Призначення параметрів пальних газів.*

Тиск *пального* газу $P_r = 0,03...0,15$ МПа. Значення витрат *пального* газу знаходяться в межах $G_r = 0,5...2,5$ м³/год.

Тиск *кисню* знаходиться в межах $P_{O_2} = 0,15...0,5$ МПа.

Співвідношення між *пальним* газом та *киснем* для ацетилено-кисневої суміші $\beta = V_{O_2} / V_{C_2H_2} = 1,1...1,4$, пропано-кисневої суміші $\beta = V_{O_2} / V_{C_3H_8} = 3,5...4$.

Тиск *повітря*, використовується для стиснення газового полум'я $P_{пов} = 0,3...0,4$ МПа, витрати в межах до $3,0...5,0$ м³/год. Якщо *повітря* використовується як транспортуючий газ, його тиск буде в межах $P_{пов} = 0,1...0,2$ МПа, витрати $0,3...0,6$ м³/год.

б) *Параметри порошкового матеріалу.* Дисперсність порошку, який подається в газове полум'я, знаходиться в межах 10-100 мкм, витрата порошку $0,5...10$ кг/год.

в) *Параметри електродного дроту.* Діаметр присадного дроту, який використовується при газополуменевому напилюванні знаходиться в межах від 1,0 до 5,0 мм швидкість подачі в межах $1,0...0,15$ м/с.

г) дистанція напилювання, залежно від матеріалу для напилювання, *пальної* суміші; яка використовується, та обладнання знаходиться в межах 100-200 мм.

д) *Параметри напилювального струменя та потоку напилюваних часток.*

Максимальна температура біля зрізу сопла становить $3273...3473$ К, швидкість струменя $150...300$ м/с. Довжина високотемпературної частини для ацетилену та пропан-бутанового полум'я досягає 70-150 мм при оптимальних співвідношеннях $\beta = V_{O_2}/V_{C_2H_2}$. Температура напилюваних часток при напилюванні дротом може бути 2973К. Швидкість часток знаходиться в межах $20-100$ м/с. Щільність потоку 10^3-10^5 част/с·см².

е) обсяг витраченого порошкового матеріалу

- для нанесення прошарку

$$V = \frac{\pi[(d + 2t_1)^2 - d^2]}{4} l$$

- для нанесення основного покриття

$$V = \frac{\pi[(d + 2t_1 + 2t_2)^2 - (d + 2t_1)^2]}{4} l$$

де t_1, t_2 – товщина підшару та основного покриття відповідно;

d – діаметр шийки.

д) маса витраченого матеріалу

$$G = \frac{V \cdot \gamma}{\eta},$$

де η - коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), приймається за табл. 5.10.

Після налаштування обладнання вмикають пальник для напилювання, механізм переміщення пальника та обертання виробу. Газополуменовий струмінь повинен бути стійким, без пульсацій.

Таблиця 5.10 – Основні технічні характеристики найбільш поширених моделей установок для напилювання.

Вид напилю- вального матеріалу	Продуктив- ність, кг/год	Робочий газ			КВМ	Грану- ляція, мкм
		Вид	Тиск МПа	Витрати м³/год.		
Пальник ГН-2	7...9	Ацетилен кисень	0,1 0,35	1,7 2,4	0,75	40-150
Установка УГПЛ-П	12	Пропан- бутан Стиснуте повітря	0,05...0,15 0,5...0,6	1,2	-	-
Установка УГПЛ	7,0 11,0	Ацетилен Стиснуте повітря	0,03...0,1 0,3...0,6	0,8-1 25-30	0,7	5...10 150-250
Установка УГПТ	12	Ацетилен кисень	0,03...0,1 0,15...0,3	1,33 2,95	0,95	30...160
Установка Л5405	8,0	Ацетилен Пропан- бутан Стиснуте повітря	0,03...0,1 0,05...0,15 0,15...0,35 0,5...0,3	1,8 2,4 3,3 4,0	не- має да- них	До 125
Установка УПН8-68	4,8	Ацетилен кисень	0,035-0,05 0,4	1,7 2,2	0,7	30-150
Установка УПТР-1-78	9,6	Ацетилен кисень	0,095 0,15	0,95 немає даних	0,98	30-125

Необхідну товщину покриття отримують однократним або багатократним проходженням пальника по напилюваній поверхні з перекриттям напилених стрічок на величину 1/3 розміру плями напилювання.

5.2. Вплив параметрів нанесення покриттів на якість покриття

Одним з основних параметрів технологічного процесу газополуменового нанесення покриттів є витрата матеріалу, який напилюється.

Він визначає як продуктивність процесу, так і властивості нанесеного покриття.

У реальних умовах роботи газополуменового пальника при нанесенні матеріалів на основі нікелю і міді встановлено практично лінійне зниження міцності зчеплення покриття з основою, а також підвищення пористості збільшенням витрат порошку в результаті зниження питомих енерговитрат нагрівання часток порошку.

Оскільки теплова потужність газополуменового струменя зберігається постійною або незначно змінюється, то витрати порошку визначають властивість покриттів при інших рівних умовах.

В дійсності має місце аномальне зростання міцності зчеплення уповільнення росту пористості при підвищенні витрат порошку до певної межі. При подальшому підвищенні витрат загальна тенденція до зниження міцності зчеплення та підвищення пористості в основному зберігається.

Аномальні явища пояснюються тим, що із збільшенням витрат порошку при незмінній потужності полум'я температура напилюваних часток знижується, і їх концентрація в потоці збільшується. При нанесенні покриття частки можуть попадати на вільні ділянки поверхні вже нагріті попередніми напиленими частками. Це найбільш вірогідно при підвищенні щільності часток у потоці.

Починаючи з деякого значення витрат, фактор збільшення концентрації більш впливає на міцність зчеплення покриття, ніж фактор зниження температури напилюваних часток. Завдяки цьому відбувається локальне збільшення температури поверхні основи при створенні першого шару покриття, що призводить до підвищення міцності зчеплення. Температура часток у цьому діапазоні ще близька до температури плавлення. При подальшому збільшенні концентрації часток у потоці виникає різке (за законом експоненти) зниження температури часток і відповідно різке зниження міцності зчеплення.

До основних параметрів процесу напилювання належить дистанція напилювання. Вона визначає інтенсивність нагрівання поверхні основи високотемпературним газовим струменем та співвідношення таких важливих факторів для якості покриттів, як температура та швидкість часток матеріалу перед контактом з напилюваною поверхнею.

Мінімальні значення пористості відповідають дистанціям напилювання, на яких досягається максимальна міцність зчеплення покриття з основою.

Як було сказано вище, температура поверхні, яка напилюється є важливим фактором, який визначає властивості покриттів.

Суттєвий вплив на нагрівання основи дає час напилювання та витрати порошку. При найбільш поширених витратах порошку (1,8...12,0 кг/год.) наявність порошку завжди призводить до підвищення температури поверхні основи порівняно чистим газовим струменем.

Спочатку напилювання швидкість підвищення температури поверхні основи збільшується з підвищенням продуктивності але із збільшенням товщини покриття вона знижується. Таким чином, регулювання температури нагрівання поверхні основи пов'язане з продуктивністю та часом напилювання необхідного шару покриття.

Покриття необхідної товщини можна нанести за один чи за декілька проходів пальника. Інтенсивність нагрівання при цьому буде різною. При напилюванні покриттів за декілька проходів пальника поверхня основи нагрівається менше за рахунок охолодження виробу під час перерви.

При нагріванні поверхні деталі в деякий момент настає баланс тепла, коли внесок тепла і його відведення в навколишнє середовище зрівнюється. Температура поверхні при цьому буде залежати від інтенсивності теплової дії.

При цьому максимальне значення міцності зчеплення відповідає інтервалу температури підігрівання основи, при якій відбувається оптимальне (без розбризкування) розтікання часток порошку.

При напилюванні покриття на попередньо підігріті вироби, температура поверхні може зростати, або залишатися незмінною на одному рівні, або навіть трохи знижуватись, залежно від кількості тепла, яке підводиться струменем з частинками того чи іншого порошку.

Підвищення температури попереднього підігрівання основи з одного боку підвищує час кристалізації часток порошку при розтіканні, завдяки чому знижується пористість покриття, із іншого боку підвищується ступінь окислення поверхні основи, що призводить до зниження міцності зчеплення напилювання покриття з основою.

Інтенсивність нагрівання поверхні, яка напилюється газопорошковим струменем, повинна бути мінімальною, а амплітуда коливання температури поверхні основи і покриття не повинна виходити за межі заданого інтервалу температур. Амплітуду коливань температур можна зменшити за рахунок збільшення частоти обертів деталі. Інтенсивність нагрівання можна знизити використовуючи в процесі напилювання малу кількість порошку з перервами охолодження або зменшення нагрівання поверхні покриття шляхом примусового обдуву стиснутим повітрям. В якості охолоджуючих газів можуть бути використані аргон, вуглекислий газ інші гази.

Практичний досвід напилювання покриттів із самофлюсуючих сплавів дозволяє рекомендувати для отримання оптимальних температур поверхні безпосередньо перед напилюванням проводити попереднє підігрівання виробу до температур 420...520 К залежно від типу порошку.

При напилюванні самофлюсуючих сплавів необхідно враховувати особливості їх напилювання. При отриманні шару покриття товщиною більше 1,0...1,5 мм, щоб він не відшаровувався, необхідно витримувати таку послідовність операцій:

- провести напилювання проміжного шару товщиною 0,3...0,5 мм;
- оплавити його або нагріти до температури не менше 0,9 температури плавлення матеріалу покриття;
- далі чергувати напилювання з оплавленням до отримання потрібної товщини, при цьому слідкуючи за якісним плавленням кожного наступного шару.

Нормально нанесений шар покриття із самофлюсуючих порошкових сплавів повинен мати світло-сірий колір.

Нанесення комбінованого покриття із самофлюсуючих сплавів і матеріалів типу карбід вольфраму необхідно проводити в такій послідовності:

- напилити прошарок самофлюсуючого сплаву товщиною близько 0,3 мм;
- напилити шар матеріалу типу карбід вольфраму потрібної товщини;
- напилити шар самофлюсуючого сплаву товщиною 0,2...0,3 мм;
- оплавити покриття.

Оплавлення покриттів із самофлюсуючих сплавів рекомендується проводити одразу після напилювання. Це дозволяє запобігти тріщиноутворенню та відшаровуванню покриттів при охолодженні. Для оплавлення використовують різні

джерела теплової енергії: індукційне та пічне нагрівання, нагрівання у розплаві солей або металів, газополуменеве, лазерне нагрівання тощо.

Необхідно запобігти перегріванню покриття, бо це призводить до різкого зниження фізико-механічних властивостей покриття.

Оплавлення покриттів із самофлюсуючих сплавів на деталях, які працюють при терті із мащенням, рекомендується робити не повністю, а частково, так щоб ширина неоплавлених ділянок була 3...4 мм, а відношення площі неоплавлених ділянок до площі всього покриття знаходились в межах 80%.

Зміст звіту

1. Виконати ескіз деталі відповідно завдання з нанесенням розмірів деталі, які необхідні для розробки технологічного процесу нанесення покриття.

2. Надати характеристику матеріалу деталі (хімічний склад та фізичні властивості).

3. Надати рекомендації по підготовці деталі до напилювання (миття, знежирювання, див. п. 3.1, 3.2).

4. Вибрати спосіб активації поверхні та навести режими операцій по активації згідно п. 3.3 (обдування дробом або абразивом, нарізання рваної різьби, попереднє підігрівання тощо), режими активації можливо прийняти за табл. 5.1, температуру попередньої активації за табл. 5.2.

5. Вибрати режими та матеріал для нанесення підшару згідно п. 3.4 та даними табл. 5.3.

6. Відповідно заданої твердості поверхні деталі вибрати матеріал для нанесення основного покриття за п. 4 та табл. 5.4-5.9.

7. Вибрати режими газополуменового напилювання (п. 5) для нанесення а) підшару;

б) основного покриття.

7. Вибрати обладнання для нанесення покриття за табл. 5.10.

8. Визначити кількість матеріалу, що буде витрачена на нанесення покриття.

9. Розробити структурну послідовність операцій нанесення покриття (включаючи підготовчі операції по активації поверхні та нанесенню прошарку).

Завдання 1

За ескізом (рис. 5.4) для посадочних поверхонь розробити структурну послідовність нанесення зносостійкого покриття на шийки під підшипники (поверхні $\varnothing 65$ і $\varnothing 50$), вибрати матеріал для нанесення покриття методом газополуменового напилювання. Твердість поверхні 50 HRC. Товщина покриття 0,5 мм.

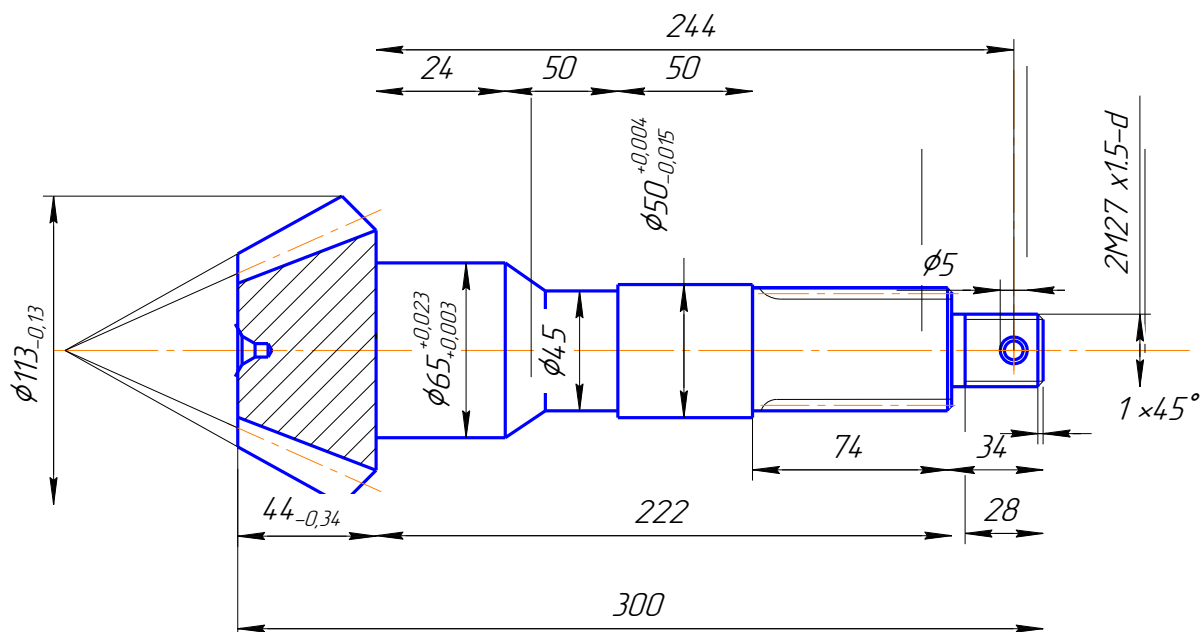


Рисунок 5.4 – Вал-шестерня конічна.

Завдання 2

Для заданої деталі – маточина (рис. 5.5) розробити структурну послідовність нанесення покриття газополуменевим напилюванням на внутрішні поверхні деталі (поверхні $\phi 100$ і $\phi 72$). Матеріал деталі КЧ 37. Необхідна твердість поверхонь 35 HRC. Товщина покриття 0,8 мм.

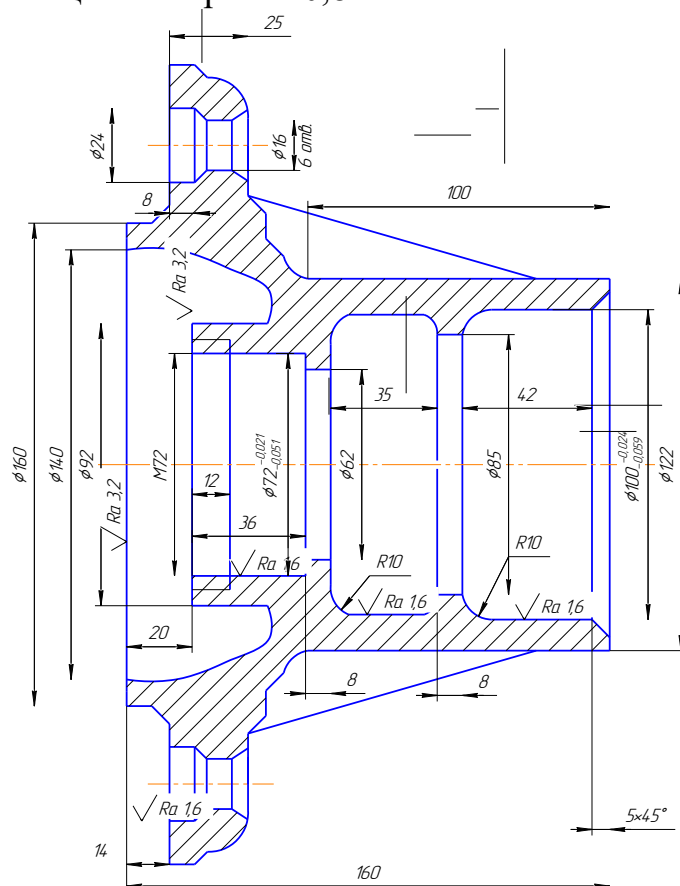


Рисунок 5.5 – Маточина.

Контрольні питання

1. В чому полягає сутність методу газополуменевого напилювання?
2. Які операції виконують при підготуванні поверхні до напилювання?
3. Яке призначення підшару?
4. Які типи матеріалів можуть використовуватися при газополуменовому напилюванні?

Практичне заняття №6

Вивчення технологічних особливостей зварювання порошковими дротами

Мета – вивчити технологію зварювання порошковим дротом, засвоїти принципи вибору порошкових дротів для зварювання та методику розрахунку режимів зварювання.

Короткі теоретичні відомості

1. Сутність способу зварювання порошковим дротом. Порошковий дріт являє собою безперервний електрод трубчастої або іншої, більш складної конструкції з порошкоподібним наповнювачем – сердечником. Сердечник складається із суміші мінералів, руд, феросплавів металевих порошків, хімікатів і інших матеріалів. Призначення різних складових сердечника подібне призначенню електродних покриттів – захист розплавленого металу від шкідливого впливу повітря, розкислення, легування металу, зв'язування азоту в стійкі нітриди, стабілізація дугового розряду й ін. Компоненти сердечника повинні, крім того, задовольняти загальноприйнятим вимогам, що висуваються до всіх зварювальних матеріалів: забезпечувати гарне формування швів, легке відділення шлакової кірки, провар основного металу, мінімальне розбризкування металу, відсутність пор, тріщин, шлакових включень і інших дефектів, певні механічні властивості швів і зварних з'єднань і т. ін.

Порошкові дроти використовуються для зварювання без додаткового захисту зони зварювання, а також для зварювання в захисних газах, під флюсом, електрошлаковому зварюванні. Дроти, що використовуються для зварювання без додаткового захисту, називаються самозахисними. Компоненти, що входять до складу сердечника таких дротів при нагріванні й розплавленні в дузі створюють необхідний шлаковий і газовий захист розплавленого металу. На теперішній час найбільшого поширення одержали порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі й самозахисні порошкові дроти.

Залежно від діаметра й складу порошкового дроту зварювання може здійснюватися у всіх трьох просторових положеннях.

Схема процесу зварювання самозахисним порошковим дротом з вільним формуванням шва наведена на рис. 6.1. Електрична дуга збуджується між оболонкою 1 порошкового дроту й основним металом 10. За рахунок тепла, що виділяється в дузі, плавляться оболонка й сердечник 2 дроту. Розплавлений метал сердечника та оболонки утворює на торці дроту краплі 3, які ростуть і переносяться у зварювальну ванну 5. При розплавленні мінералів, руд і хімікатів,

що входять до складу сердечника, утворюється шлак 6, що покриває тонким шаром краплі й зварювальну ванну. Дуга 4 горить між краплею або оболонкою й зварювальною ванною. При розкладанні карбонатів і органічних матеріалів сердечника виділяються гази 9, які захищають розплавлений метал від повітря. Дріт по мірі оплавлення автоматично подається в зону зварювання. При виключенні дуги рідкий метал зварювальної ванни кристалізується, утворюючи зварний шов 7, покритий шаром затверділих шлаків 8.

Схема процесу зварювання порошковим дротом у захисному газі наведена на рис. 6.2.

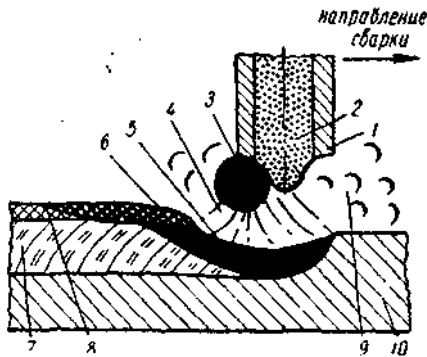


Рисунок 6.1 – Схема процесу зварювання самозахисним порошковим дротом

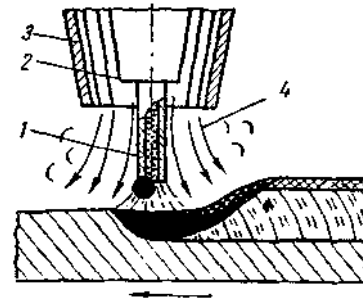


Рисунок 6.2 – Схема процесу зварювання порошковим дротом у вуглекислому газі:

1 – дріт; 2 – струмовідвід; 3 – сопло; 4 – вуглекислий газ

2. *Класифікація зварювальних порошкових дротів.* Порошкові дроти можуть бути класифіковані за призначенням, способом захисту металу від впливу повітря, типу сердечника, механічними властивостями металу шва.

Призначення дроту визначається класом металу, що зварюється. Порошкові дроти застосовуються для зварювання маловуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей, легованих сталей, чавуну, кольорових металів і сплавів.

Найбільш широке поширення одержали дроти для зварювання маловуглецевих і низьколегованих сталей. За способом захисту порошкові дроти поділяються на два види: 1) самозахисні; 2) для зварювання з додатковим захистом газом або флюсом.

Залежно від складу сердечника дроти, що застосовуються в нашій країні, можна розділити на п'ять типів – рутил-органічні, рутилові, карбонатно-флюоритні, рутил-флюоритні, флюоритні.

Сердечник дроту рутил-органічного типу складається в основному з рутилового концентрату й алюмосилікатів (польовий шпат, слюда, граніт та ін.). У якості розкислювачів використовується феромарганець, а газоутворюючими матеріалами служать крохмаль або целюлоза. Дроти із сердечником рутил-органічного типу використовуються як самозахисні.

До складу сердечника дротів рутилового типу входять в основному рутиловий концентрат, алюмосилікати й руди. Розкислювачами служать феромарганець, ферросиліцій, ферротитан, ферроалюміній. Дроти із сердечником рутилового типу використовуються з додатковим захистом вуглекислим газом.

У сердечник дроту карбонатно-флюоритного типу вводять у якості газоутворюючих матеріалів карбонати кальцію, магнію, натрію. У якості шлакоутворюючих матеріалів використовують рутиловий концентрат, алюмосилікати, окисли лужноземельних металів, флюоритовий концентрат. Розкислюють метал феромарганцем, феросиліцієм. Для додаткового розкислення металу й зв'язування азоту в нітриди в сердечник дротів цього типу іноді вводять титан і алюміній. Дроти із сердечником карбонатно-флюоритного типу найчастіше використовують як самозахисні, але застосовують і в сполученні з додатковим захистом вуглекислим газом.

До складу сердечника дротів рутил-флюоритного типу входять в основному рутиловий і флюоритовий концентрати, у якості шлакоутворюючих іноді вводять окисли лужноземельних металів, алюмосилікати. Розкислювачами служать феромарганець і феросиліцій. Дроти із сердечником цього типу застосовуються, як правило, з додатковим захистом вуглекислим газом.

Сердечник дротів флюоритного типу в основному складається із флюоритового концентрату, у невеликих кількостях уводять окисли лужноземельних металів. Для розкислення металу застосовують феромарганець, алюміній, магній. Алюміній також зв'язує азот металу зварювальної ванни в нітриди. Дроти із сердечником флюоритного типу використовуються як самозахисні.

До сердечників дротів всіх типів з метою збільшення продуктивності зварювання й підвищення сприятливих зварювально-технологічних властивостей уводять залізний порошок.

3. Конструкції порошкових дротів. З конструкцій порошкових дротів (рис. 6.3), що застосовуються, найпоширеніші дроти трубчастої конструкції (*а, б, в*). Введення частини оболонки усередину сердечника (*г, д, е, ж, з*) забезпечує більш рівномірне плавлення його й більш ефективний захист металу від повітря.

4. Самозахисний порошковий дріт

До самозахисного порошкового дроту висувається ряд вимог, від виконання яких залежить можливість його широкого виробничого застосування. До числа цих вимог відноситься забезпечення високої продуктивності процесу, широкого діапазону робочих режимів зварювання, гарного формування швів і відокремлення шлакової кірки, малих втрат металу на розбризкування, високих механічних властивостей металу шва, сприятливих гігієнічних характеристик і ін. Крім цього, дріт повинен бути технологічний у виготовленні.

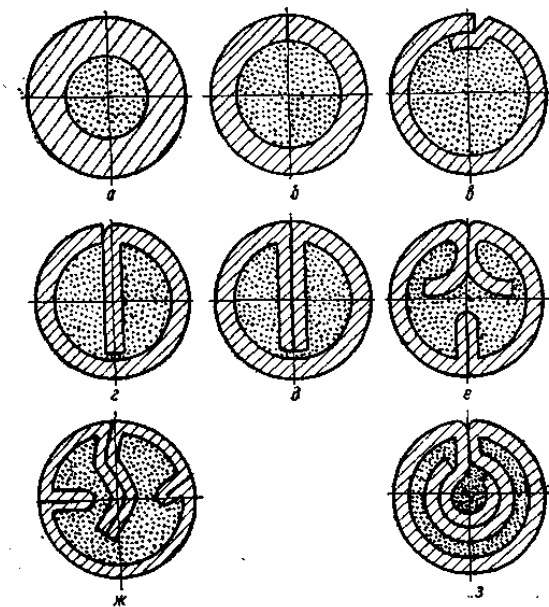


Рисунок 6.3 – Конструкції порошкових дротів.

Загальною для всіх видів порошкового дроту вимогою є забезпечення рівномірності плавлення сердечника й оболонки. Для дроту трубчастої конструкції виконання цієї вимоги можна забезпечити збільшенням частки металевих порошків у сердечнику, вибором легкоплавких композицій шлакоутворюючої частини, зменшенням товщини оболонки.

Обмеження кількості газоутворюючих матеріалів, які можна ввести в сердечник, і їх несприятливе розташування стосовно металу оболонки не дозволяють при зварюванні дротом трубчастої конструкції досягти гарного захисту розплавленого металу від повітря. Використання дроту двошарової конструкції дозволяє ефективно захистити розплавлений метал від повітря й забезпечити високі механічні властивості металу шва.

Металургійні процеси при зварюванні відкритою дугою порошковим дротом визначаються композицією сердечника. Як показали дослідження процесів, що відбуваються при нагріванні й плавленні сердечника, більші обсяги й рівномірне виділення газів із сердечника й раннє утворення шлакового розплаву поліпшують умови захисту зони дуги від повітря. Композиція сердечника дроту повинна забезпечувати поєднання захисних властивостей із сприятливими зварювально-технологічними властивостями, гарною здатністю очищувати від шлакових включень, достатньою розкисленістю й легуванням металу, високою стійкістю проти тріщин і пор. Розроблені склади сердечників порошкового дроту промислових марок є оптимальними та тією чи іншою мірою задовольняють вказані вище вимоги.

Для зварювання відкритою дугою знайшов застосування самозахисний порошковий дріт із сердечником переважно двох типів – рутил-органічного й карбонатно-флюоритного.

4.1. Дріт рутил-органічного типу. За складом сердечник дроту рутил-органічного типу подібний до електродів з покриттям рутилового типу. Шлакоутворюючу основу сердечника становлять рутиловий концентрат і алюмосилікати – польовий шпат, слюда, граніт. Газоутворюючим матеріалом

служать целюлоза, крохмаль та інші органічні матеріали. В якості розкислювача використовується переважно феромарганець. Як було показано вище, використання сильних розкислювачів, таких як кремній, титан або алюміній, що значно знижують швидкість десорбції водню зі зварювальної ванни, у дроті цього типу приводить до пористості металу шва. Тому легування можливо лише елементами, що володіють малою спорідненістю до кисню. Марганець часто використовується для розкислення й легування одночасно. Дріт рутил-органічного типу застосовується переважно для зварювання низьковуглецевих конструкційних сталей.

Стабільність горіння дуги підтримується завдяки наявності в сердечнику силікатів калію або натрію або, наприклад, двохромовоокислого калію. Значну частку сердечника становить залізний порошок. При збільшенні частки заліза, внесеного в метал зварювальної ванни, зростають продуктивність і коефіцієнт наплавлення. Збільшення товщини металу оболонки призводить до перегріву металу краплі, зростають втрати металу на розбризкування, що знижує продуктивність наплавлення. Коефіцієнти розплавлення й наплавлення зростають зі збільшенням зварювального струму й залишаються практично однаковими при зміні напруги дуги в межах застосовуваного діапазону.

Шлаки, що утворюються при зварюванні дротом рутил-органічного типу, містять велику кількість окислів титана й кремнію. Такі шлаки можна віднести в першому наближенні до систем $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-MgO}$ з переважним вмістом TiO_2 .

Високий вміст водню в дроті й недостатньо ефективний захист розплавленого металу від повітря призводять до того, що метал шва, виконаний дротом рутил-органічного типу, містить відносно велику кількість газів. Він значною мірою забруднений включеннями, переважно оксидного характеру. Ці фактори негативно позначаються на механічних властивостях металу шва й зварного з'єднання. Проте при зварюванні дротом цього типу забезпечується одержання механічних властивостей металу на рівні, що досягається при використанні електродів з руднокислим або рутиловим покриттям.

Зварювання дротом рутил-органічного типу виконується на постійному струмі зворотної полярності, хоча є принципова можливість зварювання на змінному струмі. Дріт цього типу характеризується гарними зварювально-технологічними властивостями, відносно невеликим проваром основного металу, малою схильністю до пористості при наявності окалини, іржі й зволоженні поверхні металу, що зварюється, що робить кращим його застосування при виконанні зварювальних робіт на відкритих майданчиках і монтажі. Основний недолік дроту – обмежена продуктивність, пов'язана з погіршенням якості швів і утворенням пористості при зварюванні струмом високої густини. Відзначені сприятливі особливості дозволяють рекомендувати дріт рутилового типу замість електродів типу Э42Р, Э46Р, Э42Т, Э46Т діаметром 4...5 мм.

До дроту рутил-органічного типу відноситься дріт марок ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПВС-1С, ПВС-1Л, ПВС-3.

Дріт ПП-АН1 (діаметром 2,8 мм) призначений для зварювання швів у нижньому або похилому положенні. Режимы зварювання, що рекомендуються:

сила струму 200...350 А, напруга дуги 24...28 В, швидкість подачі дроту до 180 м/год. У межах режимів зварювання, що рекомендуються, забезпечується гарне формування шва, легка віддільність шлакової кірки й невелике розбризкування металу.

Режими зварювання рутил-органічним дротом наведено в табл. 6.1

Таблиця 6.1 Режими зварювання дротом ПП-АН1 $d_{\text{др}}=2,8$ мм, $\alpha_n=13$ г/А год

Товщина аркушів, що зварюються	Параметри режиму			
	I, А	U, В	$V_{\text{пр}}$, м/год	Виліт дроту, мм
3...6	200...240	24...25	100	15...20
8...12	250...340	25...27	120	15...20
14...12	300...350	26...28	170	20...25

Типовий хімічний склад наплавленого металу: 0,06-0,10% З; 0,6-0,8% Мп; 0,07...0,15% Si; S і Р – не вище 0,035% кожного з них. Вміст кисню не перевищує 0,1%, азоту — 0,04%. Загальний зміст водню в металі шва безпосередньо після зварювання становить 20...32 см³/100 г.

4.2. Дріт карбонатно-флюоритного типу. При зварюванні порошковими дротами карбонатно-флюоритного типу газоутворюючим матеріалом є карбонати. У більшості випадків використовуються безводні карбонати лужноземельних металів (мармур, магнезит і ін.). При дисоціації їх утворюється вуглекислий газ, що створює захисну атмосферу, і оксид, що бере участь в утворенні зварювальних шлаків.

Як флюсуючий матеріал у порошкових дротах цього типу використовується фтористий кальцій (флюорит). Відомий сприятливий вплив флюориту на попередження пористості, яка викликається воднем. До сердечника порошкового дроту флюорит уводиться у вигляді плавику або флюоритового концентрату.

У складі шлакоутворюючої частини сердечника дроту карбонатно-флюоритного типу є також окисли кремнію, титана, алюмінію та ін. Їх уводять до сердечника у вигляді порошків відповідних мінералів. Режими зварювання деяких дротів карбонатно-флюоритного типу наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Режими зварювання дротів.

Марка	Діаметр	Рекомендоване положення зварювання	σ , кГ/мм ²	δ , %	α_n кГм/см ²	Рекомендовані режими зварювання		Продуктивність наплавлення
						$I_{\text{зв}}$, А	U_d , В	
ПП-АН3	3,0	н	50-56	24-30	14-18	350-500	25-30	120-180
ПП-АН7	2,3	н.г.в	50-55	21-26	13-17	160-300	20-26	70-110
ПП-АН11	2,0	н.г.в.п	52-56	23-28	14-18	150-300	20-26	80-120
ЕПС-15/2	2,5	н	40-55	20-25	13-17	320-420	24-30	120-150
ПП-2ДСК	2,3	н.г.	48-52	22-30	14-17	340-450	25-32	100-130

Примітка: н – нижнє положення, г – горизонтальне на вертикальній площині, в – вертикальне, п –стельове.

Режими зварювання дротом карбонатно-флюоритного типу наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 Режими зварювання дротом ПП-АНЗ $d_{\text{др}}=3,0$ мм, $\alpha_n=13-17$ г/А год

Товщина аркушів, що зварюються	Параметри режиму			
	I, А	U, В	$V_{\text{пр}}$, м/год	Виліт дроту, мм
5...10	360...380	25...28	140	15...20
10...15	420...450	26...29	170	20...25
15...25	460...490	29...32	210	25...30

5. Порошковий дріт для зварювання у вуглекислому газі.

Вуглекислий газ є ефективним засобом захисту від впливу повітря рідкого металу при дуговому зварюванні. На теперішній час зварювання у вуглекислому газі - найпоширеніший спосіб механізованого зварювання. Він відрізняється високою продуктивністю (у кілька разів перевищує продуктивність ручного дугового зварювання), дешевизною, простотою, можливістю виконання зварювальних робіт у різних просторових положеннях у широкому діапазоні товщин сталей, що зварюються. Зварювання у вуглекислому газі широко застосовується при виготовленні металоконструкцій з низьковуглецевих конструкційних і легованих сталей.

При зварюванні сталей загального призначення в якості електродного матеріалу зазвичай використовується дріт суцільного перерізу, легований марганцем і кремнієм, найчастіше марки Св-08Г2С. Поряд з перерахованими вище перевагами зварювання дротом Св-08Г2С у вуглекислому газі слід зазначити й істотні недоліки – підвищене розбризкування електродного металу й посередній зовнішній вигляд швів, виконаних дротом діаметром 1,6...2,0 мм у діапазоні зварювальних струмів, що найчастіше використовуються (250...400А), підвищену міцність металу шва й у ряді випадків недостатню його пластичність.

Несприятливі зварювально-технологічні властивості дроту Св-08Г2С у значній мірі пов'язані із крупнокропельним перенесенням електродного металу й нестійкістю дуги при зварюванні на малих густинах струму. При збільшенні густини струму різко зростає коефіцієнт наплавлення й погіршується формування швів.

Одним з найбільш ефективних методів поліпшення процесу зварювання у вуглекислому газі є застосування *порошкового* дроту. При введенні в сердечник матеріалів з низьким потенціалом іонізації підвищується стійкість горіння дуги навіть при застосуванні дроту більших діаметрів (3...4 мм і вище). Підбиранням композиції шлаків можна досягти сприятливого переносу електродного металу й забезпечити мінімальне його розбризкування.

Оскільки активна пляма дуги перебуває на оболонці дроту, нагрівання основного металу при зварюванні порошковим дротом, на відміну від зварювання дротом суцільного перетину, менш концентроване. Це дає можливість одержати сприятливу форму швів при високих швидкостях плавлення металу. Процес зварювання порошковим дротом у вуглекислому газі відбувається, як правило, без

коротких замикань. Режими зварювання в середовищі вуглекислого газу з використанням порошкових дротів наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Режими зварювання в середовищі вуглекислого газу з використанням порошкових дротів.

Марка дроту (електроду)	Діаметр, мм	Режим зварювання		Продуктивність наплавлювання, г/хв.
		$I_{зв}, A$	U_d, B	
ПП-АН4	2,5	440	27-29	126,0
	2,5	550	30-32	165,0
ПП-АН9	2,5	400	30-31	123,0

6. Технологічні особливості зварювання порошковим дротом

Вибір марки й діаметра порошкового дроту визначається маркою сталі, що зварюється, вимогами до металу зварного шва й зварного з'єднання, товщиною металу й умовами виконання зварювання. При цьому враховуються технологічні особливості застосування дроту й можливих меж зміни режимів зварювання, продуктивність і економічна доцільність використання. Обраний дріт підлягає обов'язковій перевірці.

Найважливішим показником якості виготовлення дроту є відповідність коефіцієнта заповнення її встановленим нормам, регламентованим ТУ.

При зварюванні порошковим дротом всіх типів повинні задовольнятися наступні вимоги:

- а) дуга повинна легко запалюватися й горіти рівномірно, без надмірного розбризкування металу й шлаків;
- б) наплавлений метал повинен рівномірно покриватися шлаками, видаляється легко після охолодження;
- в) наплавлений метал не повинен мати пор, тріщин і шлакових включень.

У деяких випадках потрібне проведення повного циклу випробувань зразків, зварених вибраним дротом.

Поверхня деталей, що зварюються, перед зварюванням повинна бути очищена від бруду, масла, іржі. Прокатна окалина на поверхні сталі впливає на якість зварювання. Слід зазначити, що дріт рutil-органічного типу допускає наявність невеликого шару іржі на поверхні металу, що зварюється.

Прихватки при складанні виробів необхідно виконувати або електродами з якісною обмазкою, або порошковим дротом, бажано аналогічної прийнятої до зварювання марки.

До напівавтоматичного й автоматичного зварювання допускаються електрозварники 3 - 4-го розряду, що пройшли спеціальну теоретичну й практичну підготовку по техніці й технології зварювання самозахисним порошковим дротом.

Зварювання всіма типами порошкового дроту, як правило, виконується на постійному струмі зворотної полярності. Перед виконанням зварювання необхідно проконтролювати готовність апаратури і якість дроту, а також зробити налаштування режиму стосовно до наміченого об'єкта зварювання.

У процесі підготовчої роботи треба переконатися в правильності вибору джерела живлення дуги і його підключень у зварювальний ланцюг. «Плюс»

джерела живлення повинен бути підключений до тримача напівавтомата. Перевіряється також відповідність перетину струмоведучих частин застосовуваним струмам.

Зварювальний напівавтомат варто налаштувати відповідно до порошкового дроту обраного діаметра. Шланг із тримачем вибирають залежно від діаметра дроту: для дроту діаметром 3,0 мм потрібен шланг із внутрішнім діаметром спіралі 4,7 мм, для дроту діаметром 2,0 мм варто застосувати шланг із внутрішнім діаметром спіралі 3,2 мм. По діаметру дроту вибирають і наконечники мундштука. Гарний струмопідвід забезпечують мідні наконечники довжиною 40...50 мм.

6.1. Зварювання дротом рутил-органічного типу. Дріт рутил-органічного типу рекомендується в основному для зварювання маловуглецевих конструкційних сталей ст. 3 (ГОСТ 380-60), М16С (ГОСТ 6713-55), 08, 10, 15, 20 (ГОСТ 1050-60) і інших сталей цього класу зі вмістом вуглецю до 0,25%. Лише при помірних режимах, коли глибина провару незначна, можна зварювати вуглецеві сталі Ст. 4, Ст. 5 та ін.

Зміна форми й розмірів шва, глибини проплавлення залежить від всіх параметрів режиму зварювання. Регулюючи зварювальний струм, напругу дуги, виліт і напрямок електрода, швидкість зварювання, можна одержати сприятливі форму й розміри шва – ширину шва b , глибину проплавлення c посилення h , площу посилення F_y і проплавлення F_{np} .

Про зміну цих величин, що характеризують форму й розміри швів у межах діапазону струмів, що рекомендуються, напруг і металу різних товщин для дроту марки ПП-1ДСК діаметром 2,2 мм. Для дроту ПП-АН1 діаметром 2,8 мм допускається застосування дещо більших величин зварювальних струмів.

Для правильного ведення процесу зварювання дротом рутил-органічного типу необхідно:

1. Установити виліт дроту рівним 15...20 мм. При більшому вильоті дріт перегрівається, погіршуються механічні властивості металу шва, у ньому з'являються пори; зварювання з укороченим вильотом може призвести до приварювання дроту до мундштука й викликати забруднення наконечника мундштука бризками.

2. Установити необхідну швидкість подачі дроту, після чого відрегулювати напругу холостого ходу джерела живлення так, щоб у процесі зварювання дріт не упирався в метал.

3. Зварювання припиняти, різко обриваючи дугу, щоб уникнути подовження вильоту. У випадку підвищеного вмісту вуглецю й кремнію у сталі, що зварюється, припиняти зварювання після плавного подовження дуги, у іншому випадку можливі здуття й пори в кратері шва.

4. При зварюванні стикових швів дотримуватися того, щоб дріт був перпендикулярний до шва. Допускається зварювання «кутом назад»; у цьому випадку відхилення дроту від вертикалі не повинно перевищувати 15°.

5. При зварюванні таврових з'єднань положення дроту щодо шва варто встановлювати таким же, як і в попередньому випадку, а кут між полицею таврового з'єднання й дротом установлювати 45...60.

Якщо зварюється таврове з'єднання із зазором, то дугу варто змістити на полицю тавра від вершини кута. У протилежному випадку можливе утворення пор у корені шва.

Дріт рутил-органічного типу діаметром 1,8; 2,0 і 2,2 мм можна застосовувати для виконання швів на вертикальній площині. Діапазон струмів, що рекомендується, для дроту діаметром 2 мм при виконанні горизонтальних швів в обробці становить 250 А, напругу дуги встановлюють у межах 23...25 В. Декоративні шви виконують на мінімальному режимі.

Вертикальні шви дротами рутилового типу виконують способом «знизу догори». Лише при зварюванні стикових з'єднань із зазором кореневий шов допускається зварювати «зверху донизу». Режим зварювання вертикальних швів обмежений вузькими межами по зварювального струму 150...170 А і напрузі дуги 19...21 В. Деяке збільшення струму можливо при заповненні оброблених стикових швів «трикутником».

При використанні якісного порошкового дроту дефекти у зварних швах, як правило, викликаються порушеннями техніки й технології зварювання.

6.2. Зварювання дротом карбонатно-флюоритного типу. Дріт карбонатно-флюоритного типу рекомендується для зварювання маловуглецевих конструкційних сталей, а також низьковуглецевих низьколегованих сталей марок 09Г2, 10Г2СД (МК), 10ХСНД, 15ХСНД, 09Г2ДТ (М). 14Г, 14Г2, 19Г, що поставляються за ГОСТ 5058-57 і ТУ, та інших низьколегованих конструкційних сталей зі вмістом вуглецю до 0,25%. Трохи обмежене застосування дроту, що містить титан і алюміній у сердечнику. При зварюванні сталей з високим вмістом хрому й кремнію цим дротом спостерігається погіршення зварювально-технологічних властивостей і зниження показників пластичності металу шва. Тому для такого дроту рекомендується обов'язкова перевірка властивостей перед зварюванням низьколегованих сталей.

Дріт *карбонатно-флюоритного* типу використовується при більших струмах, ніж рутил-органічний. Це забезпечує гарне проварювання практично у всіх рекомендованих діапазонах. Зміна форми й розмірів швів при зміні режиму зварювання приблизно така ж, як у дроту рутил-органічного типу. Недоліком ряду дротів карбонатно-флюоритного типу є увігнутість валика, особливо при зварюванні на низьких напругах дуги. Застосування дроту, що характеризується широким діапазоном напруг, наприклад двошарової конструкції, дозволяє регулювати форму валика й одержувати стикові й кутові шви зі сприятливим переходом до основного металу.

Варто остерігатися зволоження сердечника при зберіганні дроту карбонатно-флюоритного типу, тому що це може привести до появи пор у металі швів. Дріт, сердечник якого зволожився при зберіганні, потрібно прожарювати при температурі 230...250 °С протягом 2...3 год. Прожарений дріт гірше транспортується по шлангу напівавтомата, тому подачу такого дроту варто налаштовувати з особливою старанністю.

Гарні механічні властивості й висока стійкість проти переходу в крихкий стан при зниженні температури забезпечуються при виконанні зварних швів у широкому діапазоні режимів.

Для низьколегованих сталей характерна дещо більша схильність до загартування у навколошовній зоні, однак при низькому вмісті вуглецю суттєвої небезпеки виникнення тріщин немає.

Струми, що рекомендуються, забезпечуються в діапазоні швидкостей подачі дроту...300 м/год.

Налаштування режиму зварювання виконують у такій послідовності: спочатку вибирають необхідну швидкість подачі дроту для одержання заданого струму, потім установлюють середнє значення напруги дуги в рекомендованому діапазоні. Підтримуючи рекомендований виліт дроту, виконують пробне зварювання. При необхідності корегують установлений режим.

Нижче наведені загальні правила техніки зварювання порошковим дротом карбонатно-флюоритного типу.

1. Для надійного збудження дуги вихідний виліт дроту не повинен перевищувати 30 мм. У процесі зварювання виліт дроту необхідно підтримувати постійним.

2. При зварюванні стикових з'єднань порошковий дріт повинен бути розташований майже перпендикулярно до виробу: кут його відхилення від вертикального положення не повинен перевищувати 15°. При виконанні таврових і нахлестових з'єднань необхідно витримати зазначений кут нахилу електрода по напрямкам зварювання, а кут між вертикальною площиною (стілкою тавра) і дротом повинен бути в межах 30...45°.

3. При багатошаровому зварюванні перед накладенням кожного наступного шару рекомендується очистити попередній шар від шлаків. Варто враховувати, що виконання за один прохід швів катетом більше 10...12 мм недоцільно. Для швів катетом більше 6...8 мм рекомендуються плавні поперечні коливання електрода.

4. При випадковому обриві дуги або порушенні подачі дроту збуджувати дугу треба на відстані 10...15 мм від місця обриву й після запалювання перенести її на незаплавлений кратер. Заварювання кратеру робити зі швидкими поперечними коливаннями кінця електродного дроту, потім різко обірвати дугу.

5. Необхідно запобігати будь-якій можливій причині коливання режиму зварювання: нестабільній подачі дроту по шлангу напівавтомата, неправильному маніпулюванню електродом, значні коливання напруги мережі тощо. Не рекомендується робити зварювання напівавтоматом зі зношеним мундштуком тримача або наконечником мундштука.

6. У випадку недостатньо гарної підготовки виробів під зварювання або невдалого складання заварити зазор простіше при збільшеному вильоті електродного дроту. Якщо на поверхні металу, що зварюється, є забруднення й невеликий шар окалини, поява дефекту можна попередити зниженням напруги на дузі до мінімально рекомендованої. Варто пам'ятати, що наявність іржі на поверхні металу, що зварюється, призводить до погіршення технологічних показників зварювання й утворенню дефектів у швах.

Режим зварювання встановлюється відповідно до рекомендацій з урахуванням товщини металу, типу з'єднання й технологічних особливостей дроту.

Для виконання зварних швів на вертикальній площині рекомендується використовувати дріт діаметром 2...3 мм і менше.

Наприклад, дротом марки ПП-АН7 можна виконувати горизонтальні й вертикальні шви. Горизонтальні шви на вертикальній площині можна зварювати дротом діаметром 2,0 і 2,3 мм. Лицювальні шви рекомендується виконувати дротом діаметром 2,0 мм. При зварюванні кожного шва, рекомендується очищати попередній шов від шлаків.

Зварювання вертикальних швів рекомендується виконувати порошковим дротом ПП-АН7 діаметром 2,0 мм. Напрямок зварювання при виконанні вертикальних швів – знизу догори. При такому способі за один прохід можна виконувати шви катетом до 10 мм.

Приблизні режими зварювання різних з'єднань на вертикальній площині дротом ПП-АН7 наведені в табл. 6.5.

6.3. Технологія зварювання порошковим дротом у вуглекислому газі

Порошковий дріт марок ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН4 і ПП-АН9 рекомендується для зварювання конструкцій з вуглецевих конструкційних сталей, а також низьколегованих низьковуглецевих конструкційних сталей марок 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 10Г2СД, 10ХСНД, 15ХСНД, 14Г2 і ряду інших.

У тих випадках, коли до зварних конструкцій пред'являються спеціальні вимоги, можливість застосування тієї або іншої марки порошкового дроту визначається після проведення додаткових випробувань по відповідних галузевих нормах.

Таблиця 6.5 – Приблизні режими зварювання різних з'єднань на вертикальній площині дротом ПП-АН7.

Тип з'єднання	Товщина металу, мм	Швидкість подачі дро-ту, м/год.	Режим зварювання		Діаметр дроту
			I _{зв} , А	U _д , В	
Горизонтальний стиковий шов з розробкою кромок (що заповнюють шви)	10-30	200-230	230-270	22-24	2,3
		230-260	250-300	23-25	
		160-200	180-220	21-22	2,0
		200-230	210-250	22-24	2,0
Теж саме, лицювальний шов	10-30	140-160	150-180	21-22	2,0
	4-9	130-150	140-170	20-21	2,0
Стиковий шов з розробкою кромок, таврові шви	10-20	150-170	160-190	20-22	2,0

При зварюванні особливо відповідальних металоконструкцій з важким режимом роботи – котлів, резервуарів, повітрянагрівачів, навантажених вузлів вагонів, кранів, екскаваторів, у тому числі металоконструкцій, призначених для роботи в умовах низьких температур, – перевага віддається дротам ПП-АН4 і ПП-АН9, що забезпечує більш високі механічні властивості металу шва й зварного з'єднання при негативних температурах.

Як показав досвід, споживачі більш охоче застосовують дроти марок ПП-АН8 і ПП-АН10, що володіють у порівнянні із дротами марок ПП-АН4 і ПП-АН9 більш високими зварювально-технологічними властивостями. Процес зварювання

відрізняється більшою стійкістю горіння дуги, особливо на малих струмах. Ці дроти мають також гарні гігієнічні характеристики.

Зварювання порошковим дротом з додатковим захистом вуглекислим газом застосовуються замість ручного дугового зварювання електродами з покриттям рутилового, руднокислого й фтористо-кальцієвого типів, а також замість механізованого зварювання у вуглекислому газі дротом Св-08Г2С. У табл. 6.4 наведені рекомендовані режими зварювання дротом марки ПП-АН8.

При зварюванні використовується зварювальна або харчова вуглекислота, що поставляється в рідкому стані в балонах ємністю 40 л. Тиск у балоні 50...60 атм. Вага вуглекислоти в балоні становить 25 кг. Після випаровування її при 0°C и 760 мм рт. ст. утвориться 12600 л газу.

Вологість газу залежить від тиску в балоні. Зі зменшенням тиску, вологість газу підвищується. У зв'язку із цим використання балонів, у яких тиск вуглекислоти менше 10 атм, неприпустимо. У балон з вуглекислотою при заправленні неминує потрапляє повітря, що накопичується над вуглекислотою. Тому перед використанням балонів після заправлення рекомендують перші порції вуглекислоти випустити в атмосферу.

Зменшення потрапляння вологи в зону зварювання досягається встановленням на шляху газу осушувачів, заповнених силікагелем або іншими поглиначами вологи. Силікагель необхідно періодично піддавати прожарюванню при температурі 200...250°C.

Таблиця 6.6 – Рекомендовані режими для зварювання дротом марки ПП-АН8.

Діаметр дроту ПП-АН8, мм	Режим зварювання		Швидкість подачі дроту м/год.	Витрати CO ₂ , л/хв.
	I _{зв} , А	U _д , В		
2,0	150-200	20-24	142	6-8
	250-300	25-28	198	12-14
	350-400	30-33	358	14-16
	400-450	32-35	500	16-18
2,2	150-200	20-24	134	6-8
	250-300	25-28	265	12-14
	350-400	30-33	337	14-16
	450-500	32-36	465	16-18
2,5	150-200	20-24	112	8-10
	350-400	26-30	298	14-16
	400-450	27-32	337	14-16
	500-550	30-35	435	16-18
3,0	250-300	23-26	134	12-14
	350-400	27-30	210	14-16
	400-450	31-34	265	16-18
	450-500	33-36	298	18-20
	500-550	34-38	337	20-22

Вихід газу з балона супроводжується різким охолодженням його, що виникає внаслідок витрати тепла на випар рідкої вуглекислоти, що приводить до

замерзання вологи, що втримується у вуглекислоті, і закупорці редуктора. Для запобігання цього перед редуктором рекомендується ставити підігрівач.

Витрата вуглекислого газу при різних тисках представлена в табл. 6.7.

Таблиця 6.7 – Витрата вуглекислого газу залежно від тиску

Тиск, атм.	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8
Витрати CO ₂ , л/хв.	15	16	17	20	22

Порошковим дротом у вуглекислому газі зварюються таврові, кутові, нахлестові, стикові й інші з'єднання зі сталі товщиною 3 мм і вище. Положення швів у просторі – нижнє й горизонтальне на вертикальній площині для дроту діаметром 2,0...2...2,3мм і нижнє – для дроту діаметром 2,5...3,0 мм.

Зварювальні роботи рекомендується виконувати в закритих приміщеннях. Зварювання на відкритих майданчиках і при монтажі можливе при дотриманні запобігання здування захисного газу.

Поверхня кромок виробів, що зварюються, перед зварюванням повинна бути очищена від бруду, іржі, окалини, органічних матеріалів. Зварювання виробів після газового різання допускається тільки за умови очищення поверхні від шлаків.

Дріт, що довгостроково зберігався, перед застосуванням необхідно прожарювати при температурі 230...250°C протягом 1...3 год. Для рівномірного прожарювання необхідно вжити заходів, що запобігають прямому опроміненню дроту нагрівачами. Ознакою якісного прожарювання дроту може служити його колір – від жовтого до коричневого. Відсутність пожовтіння – ознака недостатньої витримки або низької температури в печі; поява синього кольору на поверхні дроту – ознака завищеної температури.

Напівавтомати або автомати повинні мати пальник, що забезпечує ламінарне витікання газу із сопла. При використанні нестандартних тримачів необхідно враховувати, що вони повинні забезпечувати радіальне стосовно осі дроту витікання газу з мундштука.

Перед пропусканням дроту в шланг кінець його повинен бути завальцьований наконечник з мундштука знятий, а шланг не повинен мати перегинів. Недотримання цих правил може привести до деформації дроту в роликах, виходу з ладу деталей шланга й тримача. Після притискання верхніми роликами порошковий дріт повинен бути на 2/3 діаметра втоплений в паз нижніх роликів. Пропускання дроту в шланг здійснюється натисканням кнопки «пуск» на тримачі або механізмі, що подає.

Перед зварюванням необхідно встановити режим, що рекомендується для даного діаметру дроту, товщини металу й типу зварного з'єднання. По обраному режимі відрегулювати витрату газу; зачекати кілька секунд для повного видалення повітря зі шлангів. Установити виліт дроту 35...40 мм із таким розрахунком, щоб відстань від кінця дроту до зрізу сопла була в межах 15...25 мм.

Збудження дуги здійснюється торканням кінця дроту виробу, а подача дроту – натисканням кнопки «пуск» на тримачі.

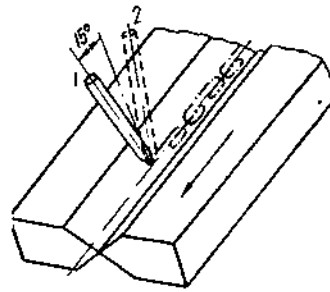


Рисунок 6.4 – Положення електродного дроту відносно виробу при зварюванні стикових з'єднань: 1 – «кутом назад» і 2 – «кутом вперед».

Від положення й переміщення пальника відносно виробу, що зварюється, залежать значною мірою стійкість горіння дуги, надійність газового захисту зони дуги від повітря, швидкість охолодження металу, форма шва, інтенсивність забризкування пальника, можливість спостереження за зоною зварювання.

Наближення пальника до виробу ускладнює спостереження за процесом зварювання й викликає засмічування пальника бризками, а надмірне видалення може привести до дефектів у швах внаслідок зниження ефективності захисту металу вуглекислим газом.

При користуванні непрожареним дротом зварювання необхідно виконувати на підвищеному вильоті – до 50 мм. При цьому внаслідок нагрівання дроту на вильоті вплив вологи в сердечнику й мастила на поверхні дроту на якість швів зменшується.

Зварювання стикових з'єднань або кутових у човник може виконуватися «кутом уперед» або «кутом назад». Кут нахилу дроту відносно вертикальної площини, перпендикулярної до осі шва, не повинен перевищувати 15° . При зварюванні «кутом назад» збільшується глибина проплавлення, ширина шва зменшується, забезпечується більш надійний захист металу зварювальної ванни й поліпшується огляд зони плавлення металу. Зварювання «кутом уперед» характеризуються малою глибиною проплавлення й великою шириною шва. При зварюванні одношарових швів пальник переміщається поступально або по витягнутій спіралі. У випадку зварювання багатшарових швів перший шар виконується без поперечних коливань електрода, а наступні шари – з поперечними коливаннями по витягнутій спіралі або «змійкою». Зварювання стикових з'єднань із глибокою обробкою здійснюється пальником з подовженим наконечником, що виступає із сопла на 10...15 мм. При зварюванні кутових швів пальник повинен бути відхилений від вертикальної стінки на $30...45^\circ$. Зварювання виконується «кутом назад» або «кутом уперед». Зварювання «кутом назад» рекомендується робити на струмах до 450 А. На більш високих струмах краще формування шва забезпечується при зварюванні «кутом уперед». Переміщення пальника – поступальне або зворотно-поступальне. Зварювання кутових швів у нижньому положенні катетом більше 10 мм не рекомендується виконувати за один прохід.

Після припинення зварювання пальник не рекомендується відводити від зварювальної ванни до повної кристалізації металу. При зупинках процесу й необхідності виконання безперервних швів кратер попереднього шару повинен бути переварений.

Викладені вище правила техніки й технології зварювання рівною мірою відносяться до всіх існуючих порошкових дротів, призначених для зварювання у вуглекислому газі. При виконанні тих або інших типів зварних з'єднань істотне значення має правильне призначення режиму зварювання. У табл. 6.6 наведені режими зварювання деяких з'єднань дротом ПП-АН4 діаметром 2,2 мм.

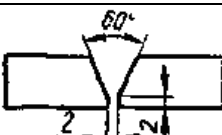
Дефекти швів. Основними дефектами швів, виконуваних порошковим дротом у вуглекислому газі, є пори, тріщини, шлакові включення, підрізи, напливи.

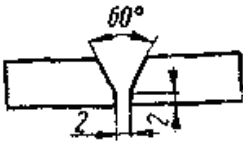
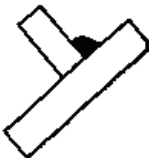
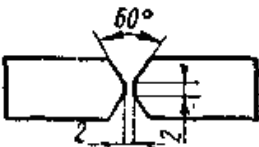
Утворення пористості у зварних швах може бути викликано наступними причинами:

- підвищеною вологістю сердечника дроту або наявністю шару мастила на поверхні дроту;
- наявністю на кромках іржі, окалини, вологи й інших забруднень;
- більшою кількістю домішок (головним чином, вологи й повітря) у вуглекислому газі;
- порушенням режимів зварювання, що рекомендуються;
- недосконалої захисної зони зварювання вуглекислим газом (потрапляння повітря в зону зварювання внаслідок недостатньої або надлишкової витрати газу, велика відстань між соплом пальника й виробом, надмірно великий кут нахилу пальника щодо виробу, підсмоктування повітря через нещільності в пальнику й газовій магістралі, ексцентричне розташування дроту щодо сопла пальника, зношування мундштука й пов'язане із цим порушення співвісності газового потоку й стовпа дуги; турбулентне витікання газу з пальника).

Кристалізаційні тріщини в металі шва можуть утворюватися в результаті порушення режиму зварювання (надмірного збільшення сили струму, напруги дуги, швидкості зварювання), неправильної підготовки кромки під зварювання, високого вмісту вуглецю й сірки у металі, що зварюється, або компонентах порошкового дроту.

Таблиця 6.8 – Режими зварювання порошковим дротом.

Товщина металу, мм	Вид з'єднання	Порядковий номер проходу	Режими зварювання		Швидкість подачі дроту, м/год.	Витрати газу, л/хв.
			струм	напруга		
5-8		1-й 2-й	280-320 300-340	25-30 36-31	210 236	8-10 8-10
8-12		1-й і 2-й	300-340	26-31	236	8-10

10-16		1-й	400-450	28-32	337	12-14
		1-й	370-420	27-32	298	10-12
		Наступні	370-420	27-32	298	10-12
			350-400	26-31	265	10-12
8-12		1-й і 2-й	400-450	28-32	337	12-14
		1-й і 2-й	380-400	26-30	298	12-14
14-18		1-й	300-340	26-30	236	8-10
		Наступні	300-340	26-30	236	8-10
			370-420	27-32	298	10-12
			400-450	28-32	337	12-14
14-18		1-й	400-450	28-32	337	12-14
		1-й	450-500	30-35	382	12-14
		Наступні	450-500	30-35	382	12-14
			500-550	30-35	435	14-16
20-30		1-й	280-320	25-30	210	8-10
		Наступні	280-320	25-30	210	8-10
			370-420	27-32	298	10-12
			400-450	28-32	337	12-14

Імовірність утворення тріщин підвищується при зварюванні першого шару багатопрхідних стикових і таврових швів. Щоб запобігти утворенню таких тріщин, перші шари шва варто зварювати на зниженому струмі «кутом уперед» і з меншою швидкістю переміщення пальника.

Неметалеві включення найчастіше зустрічаються при зварюванні багатопрхідних швів. Для попередження цього дефекту необхідно ретельно видаляти шлакову кірку перед виконанням наступного шва.

Напливи й нерівномірності перетину швів виникають, як правило, при зварюванні кутових і нахлестових швів внаслідок неправильного положення пальника щодо виробу, підвищеної сили струму, малої швидкості зварювання, накладення за один прохід швів катетом більше 10 мм, а також через нерівномірну швидкість переміщення пальників.

Причиною утворення підрізів є завищена напруга дуги.

Розбризкування електродного металу може бути викликане підвищеною напругою дуги, більшим вильотом дроту, неправильним кутом нахилу електрода і т. ін.

7. Вибір порошкового дроту

7.1 Вибір типу сердечника. Проаналізувавши дані по порошковим дротам та їх технологічні особливості, вибираємо тип порошкового дроту залежно від матеріалу, який зварюється:

а) рутил-органічні (самозахисні) порошкові дроти рекомендуються для сталей типу ст. 3, 08, 10, 15, 20.

Приклади марок рутил-органічних дротів: ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПВС-1С, ПВС - 3.

б) *рутилові* – (газозахисні) застосовуються для зварювання аустенітних корозійностійких сталей типу 03X17H14M2, 03X18H11, 06X18H11, 08X18H10T, 12X18H10T тощо.

Приклади марок рутилових порошкових дротів: ПП-СВП1, ПП-71, ППАН8, ППАН10.

в) *карбонатно-флюоритні* (самозахисні) порошкові дроти використовуються для зварювання низьковуглецевих (з вмістом вуглецю до 0,25%), а також низьколегованих сталей типу 09Г2, 10Г2СД, 14Г, 19Г. Дроти цього типу використовуються найчастіше.

Приклади марок карбонатно-флюоритних порошкових дротів: ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН7, ПП-АН11.

г) *рутил-флюоритні* (газозахисні) порошкові дроти використовуються для зварювання низьковуглецевих (з вмістом вуглецю до 0,25%), низьколегованих сталей типу 09Г2, 10ХСНД, 10Г2С1. Приклади марок порошкових дротів з рутил-флюоритним сердечником: ППАН-4, ПП-АН9, ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН9.

д) *флюоритні* порошкові дроти . Приклади марок порошкових дротів ПП-2ДСК.

7.2 Розрахунок режимів зварювання порошковим дротом.

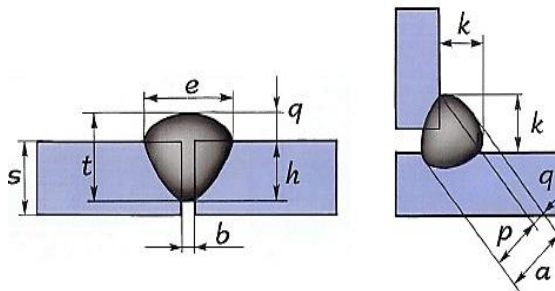
Приймаємо діаметр порошкового дроту, струм, напругу, виліт електроду та коефіцієнт наплавлення за табл. 6.1-6.8 залежно від типу обраного дроту та товщини металу, що зварюється.

Швидкість зварювання ($V_{зв}$, м/год) визначають із виразу:

$$V_{зв} = \alpha_n I_{зв} / (\rho \cdot F_{нм}),$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення, г/А · год; ρ – густина металу, г/см³ (для сталі $\rho = 7,85$ г/см³); $F_{нм}$ – площа перетину наплавленого металу шва.

При визначенні $F_{нм}$ за основу приймаються три розміри: глибина провару - h , мм; ширина шва – L , мм і вигнутість шва – q , мм. Ці величини визначаються з коефіцієнта форми провару $\psi_{np} = L/h$ і коефіцієнта форми валика $\psi_s = L/q$.



Дослідним шляхом установлені величини цих коефіцієнтів. Вони становлять $\psi_{np} = 1,3 \dots 4$ і $\psi_s = 5 \dots 8$. Приймаємо $\psi_{np} = 3$ і $\psi_s = 6$. Тоді ширина шва становить

$$L = \psi_{np} \cdot h = 3 \cdot h, \text{ мм,}$$

а вигнутість шва

$$q = L/\psi_s = 3 \cdot h/6 = h/2, \text{ мм.}$$

Площу наплавленого металу можна визначити за емпіричною формулою:

$$F_{nm} = 0,751 \cdot L \cdot q, \text{ мм}^2,$$

що в нашому випадку становить:

$$F_{nm} = 0,75 \cdot 3 h \cdot 1/2 h = 1,125 h^2, \text{ мм}^2.$$

$$h = 0,6 \cdot S,$$

де S – товщина металу, мм.

Знаючи площу наплавленого металу, густину і довжину зварених швів, визначають масу наплавленого металу за формулою:

$$G_{nm} = F_{nm} \cdot L_{\varepsilon} \cdot \rho, \quad (3.2)$$

де G_{nm} – маса наплавленого металу, г;

F_{nm} – площа наплавленого шва, мм²;

L_{ε} – довжина зварних швів на виробі, см;

ρ – густина металу, г/см³.

Швидкість подачі електродного дроту приймається за таблицями 6.1-6.8 або розраховується за формулою, :

$$V_{n.n} = \alpha_p \cdot I_{зв} / (F_{ел. др} \cdot \rho), \text{ м/год}$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення електродного дроту, г/А·год;

$I_{зв}$ – зварювальний струм, приймають з розрахунку (80...100)А на мм товщини проплавлення (80...100)h;

$F_{ел. др}$ – площа поперечного перерізу електродного дроту;

ρ – густина металу.

Коефіцієнт розплавлення електродного дроту можливо приблизно прийняти рівним коефіцієнту наплавлення.

Витрати зварювального дроту визначають за формулою:

$$G_d = G_{nm} \cdot K,$$

де K – коефіцієнт, що враховує конструкцію порошкового дроту, $K=1,25...1,35$.

Час горіння дуги визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{G_{nm}}{I_{зв} \cdot \alpha_n}, \text{ год.}$$

Повний час зварювання визначається за формулою:

$$T_0 = t_0 / k_n, \text{ год.},$$

де k_n – коефіцієнт, що враховує використання зварювального посту $k_n=0,6$.

Витрати електроенергії визначаються за формулою:

$$A = \frac{U \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} + W_0 (T_0 - t_0), \text{ кВт},$$

де η – ККД джерела живлення: при постійному струмі приймається в межах 0,6-0,7, при перемінному – 0,8-0,9; W_0 – потужність джерела живлення на холостому ході, кВт·год. (на постійному струмі складає 2,0...3,0 кВт, на перемінному – 0,2...0,4 кВт).

Зміст звіту

1. За заданим кресленням зварної конструкції запропонувати вид зварювання порошковим дротом (самозахисним, в середовищі CO_2 , під флюсом).
2. Вибрати тип зварювального дроту, діаметр, визначити матеріал сердечника, навести маркування.
3. Вибрати та розрахувати режими зварювання порошковим дротом.
4. Зазначити технологічні особливості зварювання порошковим дротом.

Завдання 1

Розробити структурну послідовність зварювання конструкції із сталі 20 $\sigma_B = 295-410$ МПа відповідно ескізу.

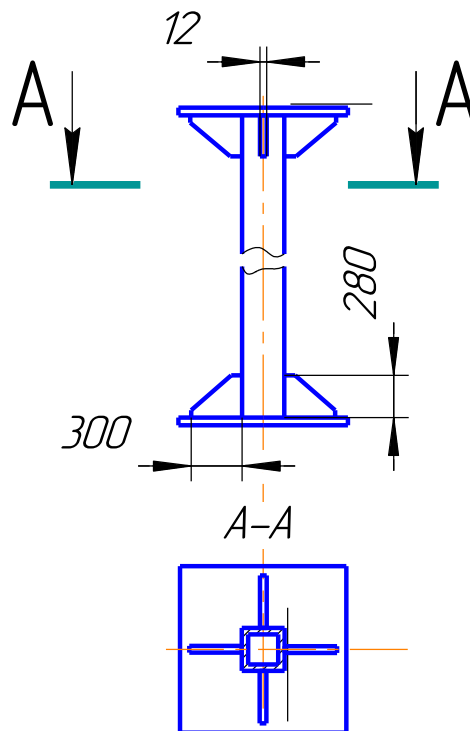


Рисунок 6.5 – Схема зварної конструкції

Навчально-методичне видання

Матеріали для зварювання, напильовання та наплавлення

Методичні вказівки до виконання практичних занять для студентів
спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Укладачі: Красота Михайло Віталійович

Кулешков Юрій Володимирович

Мезенцева Оксана Миколаївна

Руденко Тимофій Вікторович

Осін Руслан Анатолійович

Комп'ютерний набір і верстка: Красота М. В., Мезенцева О. М.