

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології і оптимізація обладнання для зварювання
корпуса стріли підйимального пристосування

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МП-41
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

	Гриценюк С.В.. (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	Мариненко С.Ю.. (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Дячун А.Є. (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	Окіпний І.Б. (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	Баран Д.Я. (підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та
ініціали)

«03» лютого 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Гриценюк Святослав

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології і оптимізація обладнання для зварювання корпусу
стріли підйимального пристосування

Керівник роботи Мариненко Сергій Юрійович, к. т. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » січня 2025 року № 4/7-45

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи базовий технологічний процес

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Зміст. Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина.

Конструкторська частина. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Технологічний процес, Креслення виробу, Пристрій для складання, Установка для зварювання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності та основи охорони праці</i>	<i>Комар Р.В., к.т.н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 3 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Реферат</i>	<i>05.02.2025</i>	
	<i>Зміст</i>	<i>07.02.2025</i>	
	<i>Вступ</i>	<i>14.02.2025</i>	
	<i>Аналітична частина</i>	<i>26.02.2025</i>	
	<i>Технологічна частина</i>	<i>18.02.2025</i>	
	<i>Конструкторська частина</i>	<i>03.06.2025</i>	
	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>07.06.2025</i>	
	<i>Висновки</i>	<i>09.06.2025</i>	
	<i>Перелік посилань</i>	<i>10.06.2025</i>	
	<i>Графічна частина</i>	<i>18.06.2025</i>	

Студент

(підпис)

Гриценюк С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мариненко С.Ю.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технології і оптимізація обладнання для зварювання корпусу стріли підйимального пристосування» складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом аркушів формату А1. Пояснювальна записка складається із аналітичної; технологічної; та конструкторської частин; безпеки життєдіяльності та охорони.

Для висвітлення питань, що розглядаються в даній роботі, пояснювальна записка містить рисунків, таблиць та додатки. При написанні пояснювальної записки використано літературних джерел.

Об'єктом є розроблення технології виготовлення металоконструкції.

Предметом розробки є процес складання та зварювання стріли підйимального механізму.

Метою проекту є розробка технологічного процесу виготовлення стріли підйимального механізму з використанням автоматичного зварювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- проаналізувати базовий варіант виготовлення;
- підібрати та обґрунтувати проектований спосіб зварювання металоконструкції;
- провести необхідні розрахунки режимів зварювання;
- вибрати та обґрунтувати зварювальне та складальне обладнання;
- розробити технологію збирання-зварювання виробу;

Таким чином, у даному проекті в технологічній частині на основі аналізу базового варіанту буде розроблено проектований варіант технологічного процесу виготовлення корпусу стріли, що включає автоматичне зварювання в середовищі захисного газу; в економічній частині — наведено техніко-економічне обґрунтування даної розробки.

У процесі розробки проекту використано такі методи:

- теоретичні методи;

емпіричні методи, що включають вивчення практичного досвіду та

спостереження.

В результаті розглянутої базової технології були виявлені деякі недоліки, тому відповідно розроблено новий варіант технології виготовлення стріли підіймального пристрою інженерної машини.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЗВАРЮВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ, ТЕХ. ПРОЦЕС.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис конструкції виробу	7
1.2 Матеріал виробу та його зварюваність	8
1.3 Вибір способу зварювання	12
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
2.1 Суть зварювання в середовищі захисних газів електродом, що плавиться	25
2.2 Підбір режимів зварювання	33
2.3 Технологічний процес виготовлення стріли підіймальної машини	33
2.4 Контроль якості	39
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	41
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	45
ВИСНОВКИ	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52
ДОДАТКИ	54

ВСТУП

Зварювання - один із найпоширеніших технологічних процесів. В умовах безперервного ускладнення конструкцій, та зростання обсягу зварювальних робіт велику роль відіграє правильне проведення технологічної підготовки виробництва, що значною мірою визначає його трудомісткість і терміни освоєння, економічні показники, використання засобів механізації та автоматизації. Найбільший ефект технологічної підготовки досягається при комплексному вирішенні питань технологічного відпрацювання самих конструкцій, розробки технологічних процесів та їх оснащення на всіх етапах виробництва.

При впровадженні на зварювальній ділянці автоматичного та механізованого обладнання, зручних для виконавців пристроїв, збільшується продуктивність праці, якість продукції, також відбудеться скорочення необхідної кількості обслуговуючого персоналу.

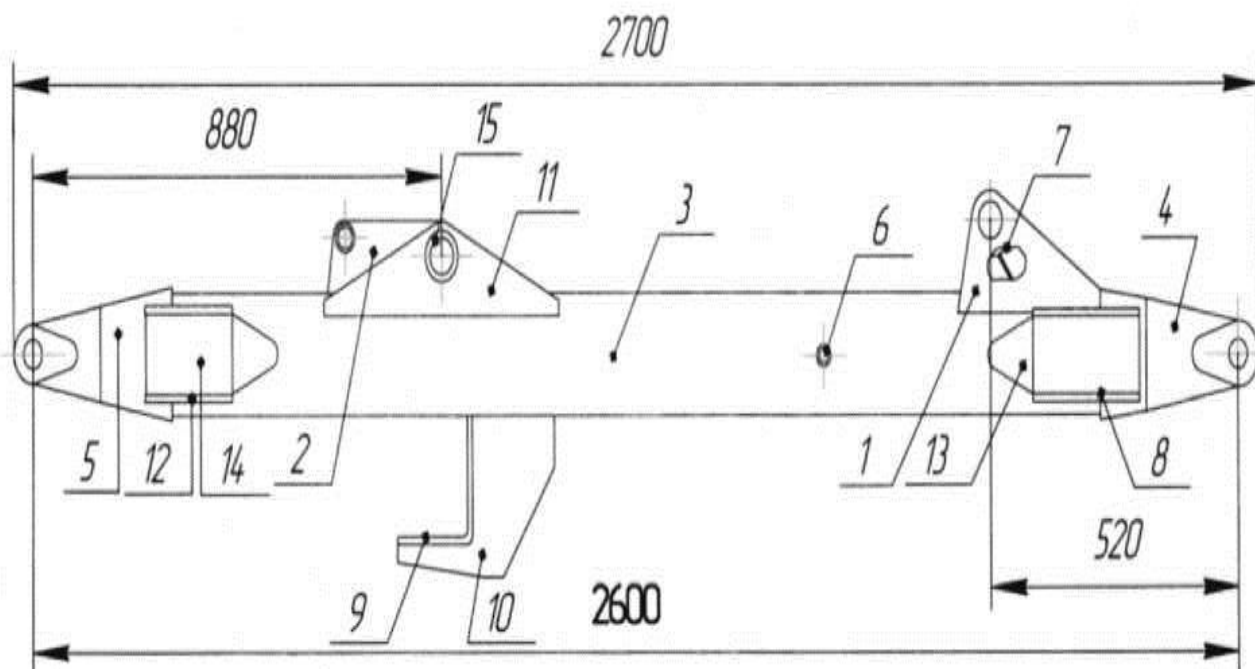
Зростання технічного рівня виробництва, введення в експлуатацію складного зварювального обладнання нерозривно пов'язані з підвищенням вимог до рівня загальноосвітньої та технічної підготовки кадрів, які працюють у галузі зварювального виробництва, насамперед робітників-зварників.

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Виріб, що зварюється, технологія складання та зварювання якого розробляється в даному дипломному проекті - це стріла інженерної підіймальної машини.

Стріла інженерної машини відноситься до балкових конструкцій коробчастого перерізу. Зовнішній вигляд стріли представлений на рисунку 1.



1 – щока; 2 – кронштейн; 3 – корпус; 4 - вухо верхнє; 5 - вухо нижнє;
6-бобишка; 7, 8, 10, 12-ребро;

Рисунок.1 – Загальний вигляд стріли

Основу конструкції стріли складає корпус, до якого приварюються накладні деталі. Поперечний переріз корпусу представлено рисунку 2.

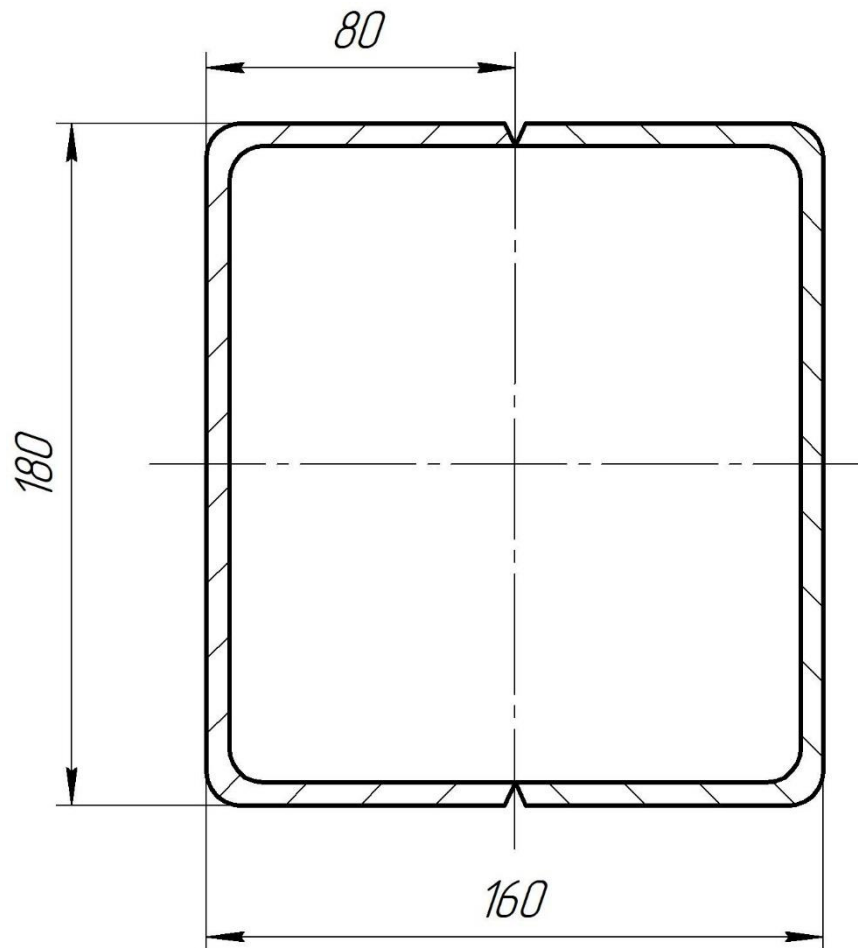


Рисунок 2 - Поперечний переріз корпусу

При роботі стріли корпус відчуває навантаження, прикладені як у вертикальній, так і горизонтальній площині, а також відчуває вплив крутного моменту.

Такі накладні деталі як щока 1, кронштейн 2 і накладка 9 відчувають на собі вплив зусиль, що відривають, які прагнуть зруйнувати зварні шви, що приєднують їх до корпусу стріли. У цьому проекті розрахунок зварних швів немає, оскільки це було зроблено під час проектування виробу. Катети та довжини зварних швів задані підприємством.

1.2 Матеріал виробу та його зварюваність

Матеріал, що йде на виготовлення конструкцій повинен добре чинити опір навантаженням і, поряд з високою міцністю, мати в'язкість. Іншими

словами, матеріал повинен мати міцність і надійність. У багатьох випадках потрібно хороший опір корозії, повзучості та іншим постійним впливам. Це означає, що наша конструкція має бути довговічною.

З усіх відомих матеріалів найкраще поєднання міцності, надійності та довговічності має сталь, вона є основним матеріалом для виготовлення відповідальних конструкцій, що зазнають навантажень.

Низьколеговані сталі, з вмістом вуглецю до 0.25%, відносяться до сталей, які добре зварюються практично всіма видами зварювання. Основна вимога при їх зварюванні - забезпечення рівномірності зварного з'єднання основному металу, за допомогою правильного вибору та застосування типових зварювальних матеріалів, режимів та технології виконання зварювання.

Залежно від вмісту легуючих елементів низьколеговані сталі поділяють на марганцеві, кремне-марганцеві, хро- мокремнемарганцеві і ін. За вмістом шкідливих домішок сірки і фосфору низьколеговані низьковуглецеві конструкційні сталі можна віднести до якісних сталей.

Для виготовлення стріли інженерної машини найбільше застосування знаходить низьколегована кремне-марганцева сталь марки 09Г2С. Хімічний склад сталі представлений у таблиці 1. Механічні властивості сталі марки 09Г2С наведені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Хімічний склад низьколегованої сталі марки 09Г2С

C, %	Si, %	Mn, %	Su, %	Ti, %	S, P, %
< 0.12	0.5-0.8	1.3-1.7	<0.3	<0.03	< 0.035

Таблиця 2 – Механічні властивості сталі марки 09Г2С [1]

Кут загину в холодному	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	KCU, МДж/м ² при -
180 °	500	350	21	0.3

Легуючі елементи, що вводяться до складу сталі, є розкислювачами.



Марганець помітно впливає на механічні властивості сталі, збільшуючи міцність металу шва. Кремній під час концентрації ≤ 0.6 % підвищує механічні властивості сталі. За більшої концентрації він знижує ударну в'язкість.

Сталь 09Г2С має комплекс механічних властивостей, які задовольняють наші вимоги до матеріалу для виготовлення стріли інженерної машини. навколошовної ділянки зони термічного впливу не перевищує 2000 МПа.

Сталь 09Г2С відноситься до групи сталей, що не гартуються, не схильних до перегріву і утворення тріщин. Сталі цієї групи зварюються без особливих обмежень, незалежно від товщини металу, температури навколишнього повітря та жорсткості виробу, у широкому інтервалі режимів зварювання.

Зварюваність матеріалу

Великий вплив на зварюваність сталі надає вміст вуглецю. Пов'язано це з тим, що при підвищенні вмісту вуглецю у складі сталі підвищується ймовірність утворення гарячих та холодних тріщин. Підвищення ймовірності утворення гарячих тріщин обумовлено схильністю вуглецю до ліквідації, а холодних тріщин - тим, що вуглець знижує температуру мартенситного перетворення та сприяє формуванню малопластичного мартенситу. Об'ємні зміни при перетворенні аустеніту на мартенсит з підвищенням вмісту вуглецю зростає. Це призводить до збільшення внутрішніх напруг.

Зварюваність - це властивість металу або поєднання металів утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, що відповідає вимогам,

зумовленим конструкцією та експлуатацією виробу.

Якщо розглядається можливість отримання якісного звареного з'єднання деталей з одного і того ж металу (або сплаву), то в цьому випадку аналізується технологічна зварюваність даного матеріалу. Зварюваності наступні:

- окислюваність металу при зварюванні, що залежить від його хімічної активності;
- опірність утворенню гарячих тріщин та тріщин при повторних нагріваннях;
- опірність утворенню холодних тріщин та уповільненому руйнуванню;
- чутливість металу до теплового впливу зварювання, характеризується його схильність до зростання зерна, структурні та фазові зміни у шві та зоні термічного впливу, зміною міцнісних та пластичних властивостей;
- чутливість до утворення пор;
- відповідність властивостей зварного з'єднання експлуатаційним вимогам: міцності, пластичності, витривалості, повзучості, в'язкості, жаростійкості та жароміцності, корозійної стійкості та ін.

Опірність утворенню гарячих тріщин

Низький вміст вуглецю в металі швів забезпечує необхідну стійкість проти утворення гарячих тріщин. Переконались в цьому дає змогу розрахунок еквівалентного вмісту вуглецю:

$$C_{\text{же}} = 0,12 + 13 + 0,3 + 0,3 = 0,43 < 0,45\%$$

Тобто сталь 09Г2С не схильна до утворення холодних тріщин.

Сталь 09Г2С відноситься до групи добре зварюваних. Вона має сприятливі показники зварюваності і за дотримання певних умов може бути зварена всіма видами зварювання, що мають промислове значення. При цьому зварні шви мають необхідну стійкість проти утворення кристалізаційних тріщин, внаслідок

зниженого вмісту вуглецю. Утворення кристалізаційних тріщин можливе лише у разі несприятливої форми провару, наприклад, у кутових швах, у першому шарі багат шарового шва, односторонніх швах з повним проваром кромок.

Сталь 09Г2С відноситься до групи сталей, що не гартуються, не схильних до перегріву і утворення тріщин. Сталі, цієї групи зварюються без особливих обмежень, незалежно від товщини металу, температури навколишнього повітря та жорсткості виробу, у широкому інтервалі режимів зварювання.

Все, перелічене вище, доводить, правильність вибору сталі з низьким вмістом вуглецю.

Зварюваність низьковуглецевих низьколегованих сталей, зокрема сталі 09Г2С, характеризується як хороша. Ця сталь будь-яких товщин, форм у широкому діапазоні режимів зварювання практично не дає тріщин і дозволяє отримувати шви високої якості. Зварювання сталі 09Г2С може виконуватися без підігріву до зварювання і в процесі зварювання, так і без подальшої термообробки.

1.3 Вибір способу зварювання

Основним елементом корпусу вантажопідйомної стріли інженерної машини є балка. У машинобудуванні балки є основними елементами рамних конструкцій. Широке застосування балки знайшли як елементи будівельних конструкцій, що несуть елементів кранових та екскаваторних пристроїв. Балки бувають таврового, двотаврового, трубчастого та коробчатого перерізу. Якщо навантаження прикладене у вертикальній площині, найчастіше використовують балки двотаврового перерізу. При додатку навантаження у вертикальній та горизонтальній площинах, а також при дії моменту, що крутить, більш доцільно використання балок коробчатого перерізу.

Складання балок переважно вести в кондукторах та інших пристосуваннях, які забезпечують задане положення елементів відносно один одного. Перевага зварювання в жорстких кондукторах полягає також у зниженні деформацій балок від нерівномірного нагріву та усадки зварних швів. Серед балок коробчатого перерізу найбільш технологічними є балки із гнутих елементів, оскільки

використання гнутих профілів знижує кількість зварних швів.

Дуже часто під час виготовлення балки виникає необхідність її повороту. Для здійснення повороту балок використовують різні кантувачі та поворотні стенди.

Для зварювання балкових конструкцій застосовується автоматичне, напівавтоматичне дугове зварювання, ручне дугове зварювання електродами з покриттям, дугове зварювання під флюсом, дугове зварювання в захисних газах.

Ручне дугове зварювання електродами з покриттям

Дугове зварювання металевими електродами з покриттям в даний час залишається одним із найпоширеніших методів, що використовуються при виготовленні зварних конструкцій. Це пояснюється простотою і мобільністю застосовуваного обладнання, можливістю виконання зварювання в різних просторових положеннях і в місцях, важкодоступних для механізованих способів зварювання.

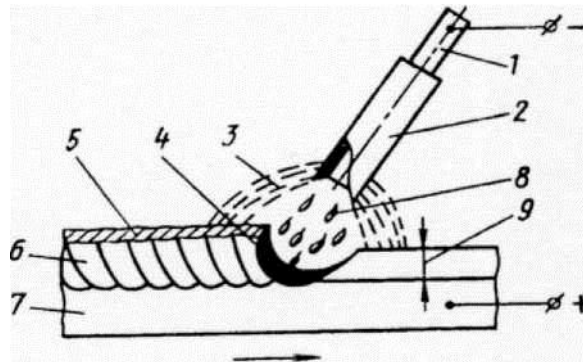
ручного зварювання, мала продуктивність процесу та залежність якості зварного шва від практичних навичок зварювальника.

До електроду та виробу, що зварюється, для утворення та підтримки зварювальної дуги від джерел зварювального струму підводиться постійний або змінний зварювальний струм (рисунок 3).

Дуга розплавляє металевий стрижень електроду, його покриття та основний метал. Металевий стрижень електроду, що розплавляється, у вигляді окремих крапель, покритих шлаком, переходить у зварювальну ванну. У зварювальній ванні електродний метал поєднується з розплавленим металом виробу (основним металом), а розплавлений шлак спливає на поверхню.

Глибина, яку розплавляється основний метал, називається глибиною проплавлення. Вона залежить від режиму зварювання (сили зварювального струму та діаметра електроду), просторового положення зварювання, швидкості переміщення дуги по поверхні виробу (торцю електроду та дузі повідомляють поступальний рух уздовж напрямку зварювання та поперечні коливання). Від конструкції зварного з'єднання, форми і розмірів оброблення кромки, що зварюються, і т.д. п. Розміри зварювальної ванни залежать від режиму зварювання

і зазвичай перебувають у межах: глибина до 7 мм, ширина 8-15 мм, довжина 10-30 мм. Частка участі основного металу у формуванні металу шва зазвичай становить 15-35%.



- 1 – металевий стрижень; 2 – покриття електрода; 3 – газова атмосфера дуги;
4 - зварювальна ванна; 5 - затверділий шлак;
7 - основний метал; 8 - краплі розплавленого електродного металу;

Рисунок 3 - Ручне дугове зварювання металевим електродом з покриттям
(стрілкою показано напрямок зварювання)

Відстань від активної плями на розплавленій поверхні електрода до іншої активної плями дуги на поверхні зварювальної ванни називається довжиною дуги. Покриття електрода, що розплавляється, утворює навколо дуги і над поверхнею зварювальної ванни газову атмосферу, яка, відтісняючи повітря із зони зварювання, перешкоджає взаємодіям його з розплавленим металом. У газовій атмосфері присутні також пари основного та електродного металів та легуючих елементів. Шлак, покриваючи краплі електродного металу та поверхню розплавленого металу зварювальної ванни сприяє запобіганню їх від контакту з повітрям та бере участь у металургійних взаємодіях з розплавленим металом.

Кристалізація металу зварювальної ванни при мірі віддалення дуги призводить до утворення шва.

Зважаючи на те, що від струмопідведення в електродотримачі зварювальний струм протікає по металевому стрижню електрода, стрижень розігрівається. Цей розігрів тим більше, чим довше протікання по стрижню зварювального струму і

чим більша величина останнього. Перед початком зварювання металевий стрижень має температуру навколишнього повітря, а до кінця розплавлення електрода температура підвищується до 500-600 ° С (при вмісті в покритті органічних речовин - не вище 250 ° С). Це призводить до того, що швидкість розплавлення електрода (кількість розплавленого електродного металу) на початку та в кінці різна. Змінюється і глибина проплавлення основного металу через зміну умов теплопередачі від дуги до основного металу через прошарок рідкого металу в зварювальній ванні.

Під технікою зварювання зазвичай розуміють прийоми маніпулювання електродом чи пальником. Вибір режимів зварювання, пристроїв та способи їх застосування для отримання якісного шва і т.п. п. Якість швів залежить не тільки від техніки зварювання, але й від інших факторів, таких як склад і якість застосовуваних зварювальних матеріалів, стан поверхні, що зварюється, якість підготовки та складання кромок під зварювання і т.д. буд.

Перед запаленням (збудженням) дуги слід встановити необхідну силу зварювального струму, яка залежить від марки електрода, просторового положення зварювання, типу зварного з'єднання та ін. Запалювати дугу можна двома способами. Застосування того чи іншого способу запалювання дуги залежить від умов зварювання та від навички зварювальника.

Довжина дуги залежить від марки і діаметра електрода, просторового положення зварювання, оброблення кромок, що зварюються, і т.д. Збільшення довжини дуги знижує якість наплавленого металу шва через його інтенсивне окислення і азотування, збільшує втрати металу на чад і розбризкування, зменшує глибину проплавлення основного металу. Також погіршується зовнішній вигляд шва під час ведення процесу зварювальник зазвичай переміщає електрод не менш ніж у двох напрямках. По-перше, він подає електрод вздовж його осі в дугу, підтримуючи необхідну висоту, а, по-друге, переміщає електрод у напрямку наплавлення або зварювання для утворення шва.

При правильно вибраному діаметрі електрода та силі зварювального струму швидкість переміщення дуги має велике значення для якості шва. При підвищеній

швидкості дуга розплавляє основний метал на малу глибину і можливе утворення непроварів. При малій швидкості внаслідок надміру великого введення теплоти дуги в основний метал часто утворюється пропал, і розплавлений метал витікає зі зварювальної ванни. У деяких випадках, навпаки, може призвести до утворення непроварів.

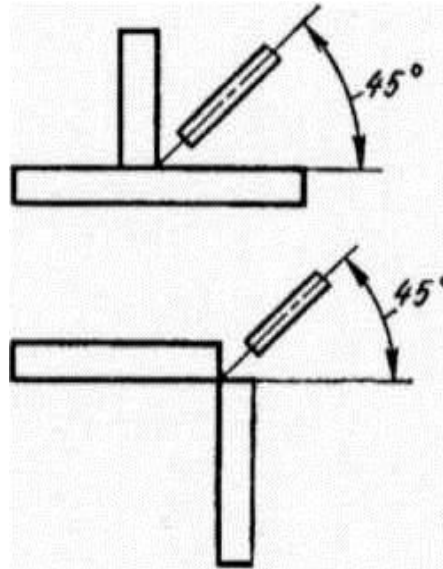
Іноді зварнику доводиться переміщати електрод упоперек шва, регулюючи тим самим розподіл теплоти дуги впоперек шва для отримання необхідних глибини проплавлення основного металу та ширини шва. Глибина проплавлення основного металу та формування шва головним чином залежать від виду поперечних коливань електрода, які зазвичай здійснюють з постійними частотою та амплітудою щодо осі шва. Траєкторія руху кінця електрода залежить від просторового положення зварювання, оброблення кромek та навичок зварювальника. При зварюванні з поперечними коливаннями одержують розширений валик. Форма проплавлення залежить від траєкторії поперечних коливань кінця електрода, а також від умов введення тепла дуги в основний метал.

При закінченні зварювання - обрив дуги слід правильно заварити кратер. Кратер є зоною з найбільшою кількістю шкідливих домішок через підвищену швидкість кристалізації металу, тому в ньому найімовірніше утворення тріщин. Після закінчення зварювання не слід обривати дугу, різко відводячи електрод від виробу. Необхідно припинити всі переміщення електрода та повільно подовжувати дугу до урвища; електродний метал, що розплавляється при цьому, заповнить кратер. При зварюванні низьковуглецевої сталі кратер іноді виводять убік від шва — на основний метал. При випадкових обривах дуги або зміні електродів дугу збуджують на ще не розплавленому основному металі перед кратером і потім проплавляють метал у кратері.

Положення електрода щодо поверхні виробу і просторове положення зварювання мають великий вплив на форму шва і проплавлення основного металу.

При зварюванні похилим електродом (рисунки 4) важко забезпечити проварювання шва по нижній площині (через натікання на неї розплавленого металу) і попередити підріз на вертикальній площині (через стікання

розплавленого металу). При зварюванні кутових швів важко забезпечити глибоке проварювання в корені шва, тому в односторонніх швах без скосу кромки може утворитися непровар, який при навантаженні шва послужить початком розвитку тріщин.



а - таврове з'єднання; б - кутове з'єднання

Рисунок 4 - Положення електрода та виробу при зварюванні Цей спосіб зварювання простий і мобільний, але має ряд недоліків:

- мала продуктивність;
- залежність якості шва від кваліфікації зварювальника.

Загалом якість ручного дугового зварювання залежить від правильності вибору параметрів режиму зварювання, складу та якості зварних матеріалів.

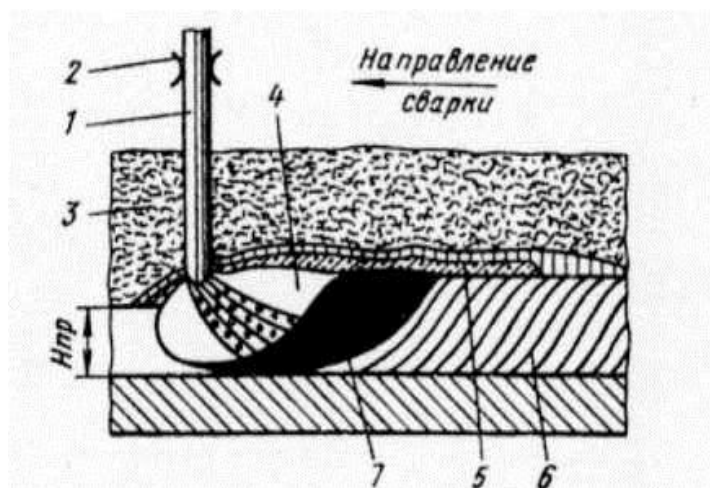
стояння поверхонь, що зварюються, якості підготовки та складання кромки під зварювання .

Дугове зварювання під флюсом

Широке застосування цього способу в промисловості при виробництві конструкцій зі сталей, кольорових металів і сплавів пояснюється високою продуктивністю процесу і високою якістю та стабільністю властивостей зварного з'єднання, покращеними умовами роботи, нижчою, ніж при ручному зварюванні, витратою зварювальних матеріалів та електроенергії. До недоліків способу відноситься можливість зварювання тільки в нижньому положенні зважаючи на

можливе набрякання розплавленого флюсу і металу при відхиленні площини шва від горизонталі більш ніж на $10-15^\circ$.

Найбільш широко поширений процес при використанні одного електрода - однодугове зварювання.



1 - електродний дріт; 2 - струмопідвод;
Рисунок 5 - Зварювання під флюсом

У розплавленому флюсі 5 газами та парами флюсу та розплавленого металу утворюється порожнину - газовий міхур 4, в якому існує зварювальна дуга. Тиск газів у газовому міхурі становить $7-9 \text{ г/см}^2$, але в поєднанні з механічним тиском, що створюється дугою, його достатньо для відтіснення рідкого металу з-під дуги, що покращує теплопередачу від неї до основного металу. Підвищення сили зварювального струму збільшує механічний тиск дуги та глибину проплавлення основного металу $H_{пр}$.

Кристалізація розплавленого металу зварювальної ванни 7 призводить до утворення зварного шва 6. Затверділий флюс утворює шлакову кірку на поверхні шва. Розплавлений флюс, утворюючи міхур та покриваючи поверхню зварювальної ванни, ефективно захищає розплавлений метал від взаємодій з повітрям. Металургійні взаємодії між розплавленим металом та шлаком сприяють отриманню металу шва з необхідним хімічним складом.

На відміну від ручного дугового зварювання металевим електродом при зварюванні під флюсом, так само як і при зварюванні в захисних газах,

струмопідведення до електродного дроту 2 здійснюється на невеликій відстані (виліт електрода) від дуги (до 70 мм). Це дозволяє без перегріву електрода використовувати підвищені зварювальні струми (до 2000 А). Щільність зварювального струму досягає 200-250 А/мм², тоді як при ручному дуговому зварюванні не перевищує 15 А/мм². В результаті підвищується глибина проплавлення основного металу і швидкість розплавлення електродного дроту, тобто досягається висока продуктивність процесу.

Зварювання під флюсом можна здійснювати змінним і постійним струмом. В залежності від способу переміщення дуги щодо виробу зварювання виконується автоматично і напіваавтоматично.

Існують різновиди зварювання під флюсом, коли в деяких випадках доцільне застосування дводугового або багатодугового зварювання. При цьому дуги живляться від одного джерела або окремого джерела для кожної дуги.

Електроди по відношенню до напрямку зварювання можуть рухатись послідовно або перпендикулярно. При послідовному розташуванні глибина проплавлення шва дещо збільшується, а при перпендикулярному зменшується. Другий варіант розташування електродів дозволяє виконувати зварювання при підвищених проміжках між кромками. Змінюючи відстань між електродами, можна регулювати форму та розміри шва. Однак недоліком способу є деяка нестабільність дуги горіння.

При дводуговому зварюванні (рисунок 6) використовують два електроди.

Дуги можуть горіти в загальну або роздільну зварювальну ванну (коли метал шва після першої дуги вже повністю закристалізувався). Змінюючи відстань між дугами, можна регулювати термічний цикл зварювання, що важливо при зварюванні сталей, що гартуються. Ця схема дозволяє вести зварювання на високих швидкостях, у той час як застосування підвищеного струму при однодуговому зварюванні призводить до несплавлення - підрізів по краях шва. При дводуговому зварюванні для живлення дуг з метою зменшення магнітного дуття краще використовувати різнорідний струм (для однієї дуги – змінний, для іншої – постійний).

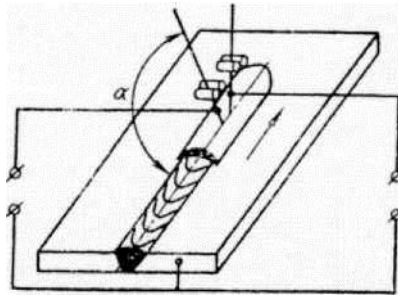


Рисунок 6 - Схема утворення шва при дводуговому зварюванні

При зварюванні на змінному струмі виникає трифазна дуга: одна дуга горить між електродами (незалежна дуга) та дві інші – між кожним електродом та виробом. Всі дуги горять в одному плавильному просторі. Регулюючи струм у кожній дузі, можна змінювати кількість електродного металу, що розплавляється, або проплавлення основного металу. У першому випадку спосіб зручний при наплавних роботах і для зварювання швів, що вимагають великої кількості наплавленого металу. Недолік способу – необхідність точного узгодження швидкостей подачі електродів. Зварювання здвоєним електродом, двома та великим числом електродів виконують на автоматах.

Форма та розміри шва залежать від багатьох параметрів режиму зварювання: величини зварювального струму, напруги дуги, діаметра електродного дроту, швидкості зварювання та ін. Такі параметри, як нахил електрода або виробу, величина вильоту електрода, грануляція флюсу, рід струму та полярність тощо. п. надають менший вплив на форму та розміри шва.

Необхідна умова зварювання — підтримка дуги. Для цього швидкість подачі електрода повинна відповідати швидкості його плавлення теплоти дуги. теплоти, що виділяється в дузі (насправді кількість розплавлюваного електродного металу дещо збільшується зі зростанням щільності зварювального струму).

Вплив параметрів режиму на форму та розміри шва зазвичай розглядають при зміні одного з них та збереженні інших постійними. Зі збільшенням сили зварювального струму глибина проплавлення зростає до певної величини. Це пояснюється зростанням тиску дуги на поверхню зварювальної ванни, яким відтісняється розплавлений метал з-під дуги

(покращуються умови теплопередачі від дуги до основного металу), і збільшенням погонної енергії. Збільшення густини зварювального струму (зменшення діаметра електрода при постійному струмі) дозволяє різко збільшити глибину проплавлення.

Недоліки автоматичного зварювання: при використанні для зварювання односторонніх швів мідних підкладок, що знімаються, якість шва залежить від надійності підтискання до них крайок; при зазорах понад 0,5 мм розплавлений метал може витікати в нього, що призводить до утворення дефектів шва.

Недоліком цього способу - труднощі точної укладання кромок довгого стику вздовж формує канавки нерухомої мідної підкладки.

Недоліки напіваавтоматичного зварювання: невеликі зміни відстані від тримача до поверхні виробу не порушують процесу зварювання та незначно впливають на форму та розміри шва. Однак для отримання якісних швів потрібні практичні навички для точного напрямку електрода по осі шва та підтримки необхідної швидкості переміщення тримача. Існують недоліки цього способу:

- неможливість спостереження формування шва;
- необхідність подальшого зачищення швів від шлаку
- зварювання ведеться тільки в нижньому положенні, тому що при нахилі на 10-15° відбувається стікання рідкого металу та шлаку.

Дугове зварювання в захисних газах знайшло широке застосування у промисловості. Цим способом можна з'єднувати вручну, напіваавтоматично або автоматично в різних просторових положеннях різні метали та сплави товщиною від десятих часток до десятків міліметрів.

При зварюванні електродом, що не плавиться, електрод не розплавляється, а його витрата викликана випаровуванням металу або частковим оплавленням при підвищеному допустимому зварювальному струмі. Утворення шва відбувається за рахунок розплавлення кромок основного металу або додатково присадочного металу, що вводиться. При зварюванні електродом, що плавиться, присадковий матеріал одночасно є і електродом.

Як захисні гази застосовують інертні (аргон і гелій) і активні (вуглекислий газ, водень, кисень і азот) гази, а також їх суміші (Ar + He, Ar + CO₂, Ar+O₂,

CO₂+O₂ та ін.). По відношенню до електрода захисний газ можна подавати центрально або збоку. Збоку газ подають при великих швидкостях зварювання електродом, що плавиться, коли при центральному захисті надійність захисту порушується через обдування газу нерухомим повітрям. Протяги або вітер при зварюванні, здуваючи струмінь захисного газу, можуть різко погіршити якість зварного шва або з'єднання. У деяких випадках для отримання необхідних технологічних властивостей дуги, а також з метою економії дефіцитних і дорогих інертних газів використовують захист двома концентричними потоками газу.

Теплофізичні властивості захисних газів мають великий вплив на технологічні властивості дуги та форму швів. Наприклад, у порівнянні з аргоном гелій має більш високий потенціал іонізації та більшу теплопровідність при температурах плазми. Тому дуга в гелії «м'якша». При рівних умовах дуга в гелії має більш високу напругу, шов, що утворюється, має меншу глибину проплавлення і більшу ширину. Вуглекислий газ за впливом на форму шва займає проміжне положення. Широкий діапазон використовуваних захисних газів, що володіють теплофізичними властивостями, що значно розрізняються, обумовлює великі технологічні можливості цього способу як щодо металів, що зварюються (практично всіх), так і їх товщин.

Цей вид зварювання має низку переваг:

- забезпечує високу якість зварних з'єднань на різних матеріалах, що зварюються, і сплавів;
- забезпечує візуальне спостереження формування шва;
- висока продуктивність;
- легка механізація процесу.

Недоліки:

- необхідність застосування захисних заходів проти теплового та світлового випромінювання;
- дефіцитність та висока вартість інертних газів.

Аналізуючи всі переваги і недоліки перерахованих вище способів, обраний спосіб зварювання в середовищі захисних газів, так як цей спосіб зварювання має

переваги перед іншими перерахованими способами:

- висока якість зварних виробів з різних металів та сплавів різної товщини;
- можливість зварювання у всіх просторових положеннях;
- можливість спостереження за горінням дуги та формуванням шва;
- відсутність операції із зачистки шва від шлаку;
- широка можливість механізації та автоматизації процесу зварювання;
- відсутність необхідності застосування флюсів та обмазок для електродів;
- низька собівартість виконання зварювальних робіт під час використання захисних газів;

При виготовленні балок коробчатого перерізу найчастіше використовуються напівавтоматичне та автоматичне зварювання в середовищі захисних газів, автоматичне зварювання під флюсом. Для здійснення прихватки застосовують або ручне дугове зварювання, або напівавтоматичне зварювання в захисних газах.

Для зварювання поздовжніх швів балок коробчатого перерізу найбільше доцільно використання компонування обладнання, схемою якої наведено на рисунку 7

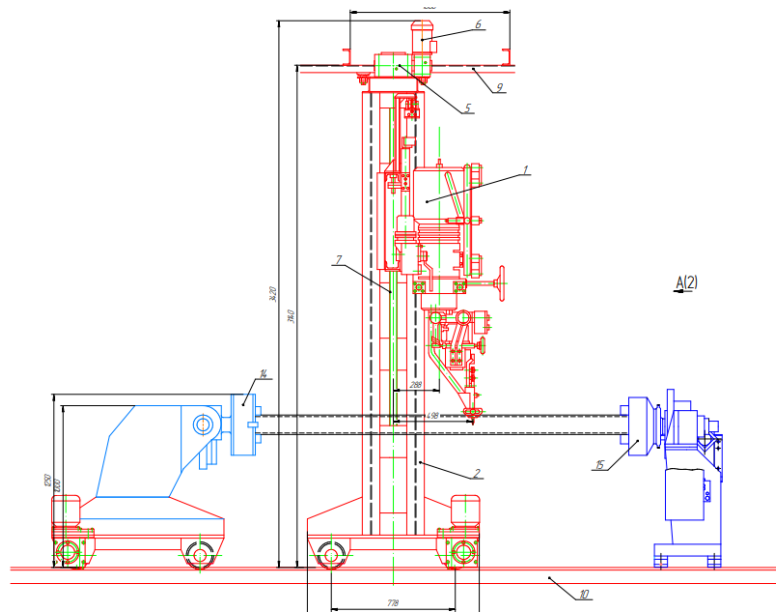


Рисунок 7 - Схема компонування обладнання для зварювання прямолінійних швів

Як зварювальний автомат у цій схемі може використовуватися або самохідна зварювальна головка, або зварювальний трактор. Якщо ширина виробу дозволяє використання дводугового автомата, одночасно ведуть зварювання двох швів як показано на рисунку 8.

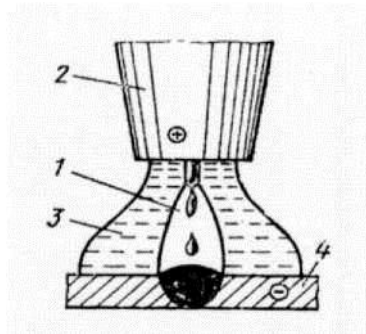


Рисунок 8 - Схема зварювання стикових поздовжніх швів

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Суть зварювання в середовищі захисних газів електродом, що плавиться

Для зварювання балки вантажної стріли інженерної машини найбільше раціонально використовувати зварювання в захисному газі. При цьому способі зварювання в зону дуги 1 через сопло 2 подається безперервно захисний газ 3. Теплою дуги розплавляється основний метал 4 і електродний дріт (рисунок 9). Розплавлений метал зварювальної ванни кристалізуючись утворює шов.



1 – дуга, 2 – сопло, 3 – захисний газ

Малюнок 9 - Дугове зварювання в захисних газах

У порівнянні з іншими способами зварювання в захисних газах має низку переваг. Висока якість зварних з'єднань на різноманітних металах та сплавах різної товщини. Можливість зварювання у різних просторових положеннях. Можливість візуального спостереження за утворенням шва, що особливо важливо при напівавтоматичному зварюванні. Відсутність операцій із засипання та збирання флюсу та видалення шлаку. Висока продуктивність та легкість механізації та автоматизації. Низька вартість під час використання активних газів. До недоліків способу порівняно зі зварюванням під флюсом відноситься необхідність застосування захисних заходів проти світлової та теплової радіації дуги.

Склад металу шва при зварюванні в захисних газах електродом, що плавиться визначається складом газу, складом електродного і основного металу, їх частками в металі шва і ходом металургійних реакцій.

При зварюванні в сумішах $Ar + CO_2$ у зоні високих температур дуги

відбувається розкладання CO_2 за реакцією: $\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2\text{O}_2$. Вуглекислий газ у зоні зварювання при високій температурі дисоціює на окис вуглецю та кисень.

Кисень, що виділився, окислює рідкий метал. Від складу та кількості оксидів залежить кількість шлакових включень у металі шва та зовнішній вигляд шва. Окислення вуглецю та виникнення окису вуглецю є однією з основних причин появи пір у шві. Введення в присадний дріт елементів - розкислювачів: кремнію, марганцю, забезпечує отримання якісних зварних швів без пір.

Ступінь розкладання CO_2 і відповідно склад газу залежить від температури. У зону зварювання потрапляють так само азот і водень, як домішка CO_2 у складі вологи, з іржі, що трапляється на електродному дроті і кромках, що зварюються, з технологічних мастил.

Значна кількість азоту і водню може викликати утворення пор у шві.

Кисень інтенсивно окислює залізо та домішки сталей. Введення у дріт елементів - розкислювачів (кремній, марганець) дозволяє придушити реакцію окислення вуглецю та забезпечує отримання щільних швів. Кисень так само інтенсивно окислює водень, що потрапляє в зону зварювання і сірку, що підвищує стійкість металу шва до утворення пор і гарячих тріщин, а також підвищує механічні властивості шва. При окисленні кремнію, марганцю та інших складових сталі утворюються окисли. Від їх складу та кількості залежать кількість шлакових включень у металі шва та його зовнішній вигляд. При зварюванні в захисних газах має місце значне випаровування марганцю та заліза. Окислення та випаровування найбільш інтенсивно відбувається у краплях електродного металу.

Однією з причин відхилення та блукання дуги може бути хімічна неоднорідність поверхні виробу, що зварюється. Присутність на поверхні металу оксидів призводить до збільшення густини струму за рахунок зменшення анодних плям при прямій полярності або обмеження зони переміщення катодних плям при зворотній полярності. Тому для попередження блукання дуги необхідне обов'язкове зачищення поверхні дуги та формування шва більш стабільні. Відхилення дуги спостерігається за наявності сторонніх включень та попаданні в зону зварювання. У цьому випадку можливості такого відхилення зменшуються

підвищенням градієнта температур потенціалу дуги. Для підвищення градієнта стовпа слід застосовувати захисний газ з високим ефективним потенціалом іонізації.

Перенесення металу через дуговий проміжок зумовлює технологічні характеристики дуги. Від характеру перенесення металу залежить стабільність горіння дуги, її тепловий баланс, металургійні реакції у зоні зварювання, розміри проплавлення та формування шва. Перенесення металу через дуговий проміжок відбувається у вигляді крапель та пари. Краплі формуються на кінці електрода під впливом сили тяжіння, поверхневого натягу, тиску парів, що утворюються всередині розплавленого металу, кінетичної енергії рухомих газів та інших факторів, пов'язаних з дисоціацією молекул газу. Основними силами, що зумовлюють формування крапель електродного металу та перенесення його через дуговий проміжок, є аксіальна сила, що виникає в результаті пінч-ефекту, та сили поверхневого натягу. Сила тяжіння має практичне значення при струмі відносно невеликому для діаметра дроту 1,6 мм. Розплавлений метал на кінці електрода під тиском сил поверхневого натягу збирається у краплі. У міру розплавлення електрода крапля зростає до такого обсягу, коли її вага стає рівною силі поверхневого натягу і крапля обривається у зварювальну ванну.

Зі збільшенням сили струму зростає електродинамічна сила, зменшується розмір крапель і за певного значення струму, званому критичним, краплинний перенесення металу переходить у струменевий.

Вуглекислий газ сприяє збільшенню поверхневого натягу. При зварюванні в суміші $\text{Ar}+\text{CO}_2$ ступінь інтенсивності відштовхування крапель вгору зростає зі збільшенням вмісту вуглецю діоксиду в суміші. Перенесення електродного металу у дузі супроводжується викидом металу межі зварювальної ванни розбризкування. Розбризкування металу відбувається в результаті викиду дрібних бризок при вибуху перемички між електродом і краплею, відділення залишку рідкого металу від електрода, розплескування ванни та викиду розігрітої та оплавленої частини електрода. Зменшення розбризкування можна забезпечити при примусовому управлінні переносом електродного металу. Підвищення стабільності дуги та

скорочення втрат металу на розбризування забезпечується за рахунок застосування активованих дротів або використання в суміші аргону як основний газ.

Залежно від зварюваного металу та його товщини як захисні гази використовують інертні, активні гази або їх суміші. З точки зору фізичних особливостей стабільність дуги та її технологічні властивості вища при використанні постійного струму зворотної полярності. При використанні постійного струму прямої полярності кількість електродного металу, що розплавляється, збільшується на 25-30 %, але різко знижується стабільність дуги, і підвищуються втрати металу на розбризування. Застосування змінного струму неможливе через нестабільне горіння дуги. При зварюванні електродом, що плавиться, шов утворюється за рахунок проплавлення основного металу і розплавлення додаткового металу - електродного дроту. Тому форма і розміри шва, крім іншого (швидкості зварювання, просторового становища електрода та виробу та ін), залежать також від характеру розплавлення та перенесення електродного металу у зварювальну ванну. Характер перенесення електродного металу визначається в основному матеріалом електрода, складом захисного газу, щільністю зварювального струму та рядом інших факторів.

Можна виділити три основні форми розплавлення електрода та перенесення електродного металу у зварювальну ванну. Процес зварювання з періодичними короткими замикання характерний для зварювання електродними дроти діаметром 0,5-1,6 мм при короткій дузі з напругою 15-22 В. Після чергового короткого замикання (I і II на малюнку 10) силою поверхневого натягу розплавлений метал на торці електрода. В результаті довжина та напруга дуги стають максимальними. Малюнок 10 - Перенесення електродного металу короткими замиканнями

У всі стадії процесу швидкість подачі електродного дроту постійна, а швидкість її плавлення змінюється і в періоди III і IV менша за швидкість подачі. дія яких розриває перемичку рідкого металу між електродом та виробом.

Частота періодичних замикань дугового проміжку може змінюватись у межах 90-450 Гц на секунду. Для кожного діаметра електродного дроту в

залежності від матеріалу, захисного газу і т.д. д. існує діапазон зварювальних струмів, в якому можливий процес зварювання із замиканнями. При оптимальних параметрах процесу зварювання можливе в різних просторових положеннях, а втрати електродного металу на розбризкування не перевищують 7%. Періодичні короткі замикання можуть здійснюватися і примусово, наприклад, механічним шляхом або за допомогою мікропроцесорного управління інверторним джерелом живлення. Збільшення напруги на дуї веде до зміни характеру розплавлення та перенесення електродного металу, переходу від зварювання короткою дугою з короткими замиканнями до процесу з рідкісними короткими замиканнями або без них. У зварювальну ванну електродний метал переноситься нерегулярно, окремими великими краплями різного розміру (рисунок 11), добре помітними неозброєним оком.

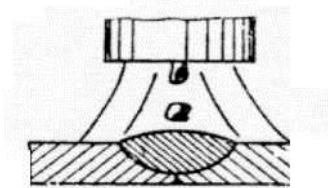


Рисунок 11 - Крапельне перенесення електродного

При цьому погіршуються технологічні властивості дуги, а втрати електродного металу на чад і розбризкування зростають до 15% при зварюванні CO_2 . При досить високих щільності постійного за величиною зварювального струму зворотної полярності і при горінні дуги в інертних газах і сумішах на їх основі може спостерігатися дуже дрібнокрапельне перенесення електродного металу. Назву «струменевий» він отримав тому, що при його спостереженні неозброєним оком складається враження, що розплавлений метал стікає у зварювальну ванну з торця безперервним електродом струменем (рисунок 12).

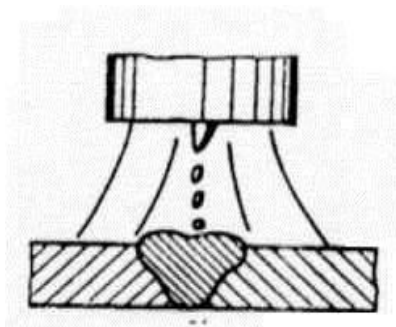


Рисунок 12 - Струменеве перенесення електродного металу

Зміна характеру перенесення електродного металу з крапельного на струменевий відбувається зі збільшенням сили зварювального струму до критичного для даного діаметра електрода.

При переході до струмового перенесення потік газів і металу від електрода у бік зварювальної ванни різко інтенсифікується завдяки стискуючій дії електромагнітних сил. В результаті під дугою зменшується прошарок рідкого металу, у зварювальній ванні з'являється місцеве заглиблення. Підвищується теплопередача до основного металу, і шов набуває специфічної форми з підвищеною глибиною проплавлення його осі. При струминному перенесенні дуга дуже стабільна - коливань зварювального струму та напруги не спостерігається. Зварювання можливе у всіх просторових положеннях.

При зварюванні електродом, що плавиться, так само як і при зварюванні електродом, що не плавиться, зовнішні магнітні поля відхиляють дугу. Однак ефект від використання зовнішнього магнітного поля спостерігається при зварюванні довгою дугою і найбільш помітний при струменевому перенесенні електродного металу. У цьому випадку розплавлений торець електрода коливається синхронно із частотою зовнішнього магнітного поля. При поперечних коливаннях збільшується ширина шва та зменшується глибина проплавлення. В результаті шов, що утворюється, не має підвищеної глибини проплавлення по осі.

Змінювати технологічні характеристики дуги можна за допомогою центральної подачі захисного газу з високою швидкістю. Високі швидкості закінчення газу при звичайних витратах досягаються застосуванням сопел із

зменшеним вихідним отвором. Обдування дуги газом сприяє її стисненню.

При зварюванні плавким електродом у захисних газах залежності форми та розмірів шва від основних параметрів режиму такі ж, як і при зварюванні під флюсом. Тому шви мають вузьку форму провару, і в них може спостерігатися підвищена зональна ліквіація. Застосовуючи поперечні коливання електрода, змінюють форму шва та умови кристалізації металу зварювальної ванни та зменшують ймовірність зональної ліквіації.

Якісний провар та формування кореня шва забезпечують тими самими прийомами, що і при ручному зварюванні або зварюванні під флюсом (підкладки, флюсові та газові подушки тощо). Зі зменшенням щільності струму стабільність дуги знижується. Величина вильоту електрода також впливає на стабільність процесу та розміри шва. Нижче наведено оптимальний виліт електрода, що плавиться при зварюванні в захисних газах:

Відстань від сопла пальника до виробу зазвичай витримують в межах 8-15 мм. або лівим методом, вузьким валиком або поперечними коливаннями.

Вибір зварювальних матеріалів

Зварювальний дріт

Сталевий зварювальний дріт суцільного перерізу випускають за спеціальними технічними умовами.

Для зварювання низьковуглецевих, низьколегованих і аустенітних сталей необхідний дріт, який за своїм складом, з одного боку, не сильно відрізняється від хімічного складу матеріалу, що зварюється, а з іншого боку - легує метал шва, компенсуючи окислення легуючих елементів в основному металі при його зварюванні. Виходячи з перерахованих вище умов, для зварювання сталі 09Г2С доцільно вибрати дріт Св-. Хімічний склад дроту наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 - Хімічний склад дроту Св-08Г2С%

З	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
0,05-0,11	1,8-2,1	0,7-0,95	0,2	0,25	0,025	0,03

Захисний газ

Основне призначення захисного газу при зварюванні - це захист зони дії зварювання від безпосереднього впливу навколишнього повітря і створення захисної атмосфери при зварюванні металу електродом, що плавиться.

В даний час найбільшого поширення в промисловості набула захисна газова суміш CORGON 18 (K18).

Для зварювання в запропонованому варіанті технології використовуємо вказану вище стислу суміш за ТУ 2114-001-87144354-2012 Ag/18CO₂, що поставляється в окремих балонах і моноблоках.

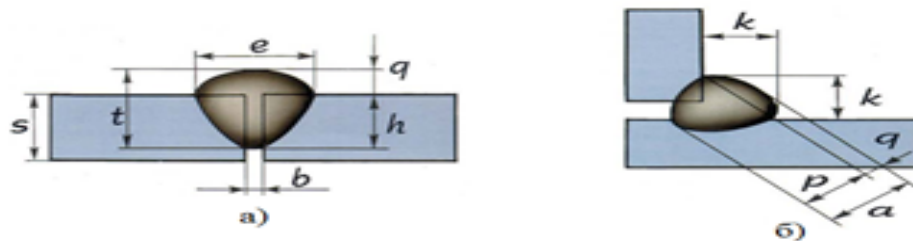
Захисна суміш поставляється в балонах, ємністю 5,10 і 40 літрів і моноблоках з 9 або 12 балонів ємністю по 40 літрів.

Хороша якість швів та відсутність у них неприпустимої пористості може бути досягнуто при виконанні відповідних вимог до газу. Найбільш шкідливими елементами є вміст у газі азоту повітря, які при зварюванні збільшують розбризкування рідкого металу шва та знижують пластичні властивості металу шва та викликають у ньому утворення нітридів.

Порівняно висока питома вага захисної суміші збільшує надійність захисту зони зварювання.

2.2 Підбір режимів зварювання

Стріла, як зварена конструкція зібрана і зварена такими видами швів Т1, Н1, С1. У з'єднанні застосовані стикові шви для товщини металу 6 мм (відповідно до таблиці деталей).



а – стиковий шов; б – кутовий шов; а – товщина кутового шва; б – зазор; s – товщина металу, що зварюється; е – ширина шва; q – підсилення шва; h – глибина проплавлення; t – товщина шва; к – катет кутового шва; р – розрахункова висота кутового шва.

Рисунок 13 – схематичні зображення зварних з'єднань типу С1 та К1

Таблиця 6 - Параметри режиму зварювання кореневого проходу

d _E , мм	I _{СВ}	l _E , мм	V _{СВ} , м/год	U _д , В	V _{ПП} , м/год	F _{H2} , мм
1,6	370±5	16±3,2	14,4±1	32	380	49

2.3 Технологічний процес виготовлення стріли підіймальної машини

Підготовка під зварювання деталей

Зачистити кромки поверхонь, що стикаються, зварюваних деталей до металевого блиску (ширина 15-20 мм), використовуючи зачистну машинку BOSCH.

Зачищені поверхні знежирити нефрасом С2 80/120 ТУ 3840167108-92 та протерти серветкою х/б.

Знежирити пристрій нефрасом, зачищені та знежирені деталі зібрати в пристрій, витримуючи розміри.

Вибір зварювального обладнання

Для операції прихватки елементів корпусу, а також для прихватки і

приварювання накладних деталей до корпусу передбачається застосування напівавтомата, що робить зварювання електродом, що плавиться в CO₂. Вихідними для вибору напівавтомата є основні параметри режиму зварювання, наведеними в попередньому розділі.

Виходячи з вихідних даних, вибираємо напівавтомат ПДГ-515. Це пересувний напівавтомат, що штовхає, призначений для зварювання дротом d 1,2-2 мм на струмах до 500А. У комплект напівавтомата входять тримачі, пересувний механізм, що подає, що забезпечує плавне регулювання швидкості подачі дроту, апаратура управління і випрямляч ВДУ-506. Машина типу МПО-1 забезпечує швидкість подачі електродного дроту від 120 до 1200 м/год. Типи зварювальних пальників ГДГТГ-301-8 та ГДПГ-501-4.

Напівавтомат ПДГ-515 має уніфіковану подачу пристрою і блок управління. у ніші джерела зварювального струму Всі напівавтомати призначені для зварювання в середовищі вуглекислого газу

Напівавтомат ПДГ-515 комплектується випрямлячем ВДУ-506, двома пальниками типів ГДПГ-101-10 та ГДПГ-506, редуктором-витратоміром У-30, сполучними проводами, щитком зварювальника та запчастинами.

На подаючому пристрої розміщуються редукторний привід подачі електродного дроту, гальмівний пристрій з касетою, двопанельний блок роз'ємів. струму. Редукторний привід подачі та касета закриті складним кожухом.

Уніфікований редукторний привід складається з триступінчастого циліндричного редуктора з передавальним числом 27 і постійного двигуна двигуна з незалежним збудженням типу КПА-531, потужністю 90 Вт. На корпусі редуктора співвісно з вихідним валом розташований циліндричний виступ для встановлення притискного пристрою.

Притискний пристрій складається з роликів, що підтискаються один до одного в радіальному напрямку. Ведучий ролик встановлений на вихідному валу редуктора, а притискний - на поворотному важелі корпусу,

закріпленого на виступі редуктора. Зусилля підтискання притискного ролика регулюється гвинтом, що впливає на важіль через плоску пружину. Жорстко пов'язані з роликами шестерні виключають їхнє взаємне прослизання.

Пальник ГДПГ-506 (рисунок 14) призначений для зварювання електродним дротом діаметром 1,2 і 1,6 мм струмом до 500 А. Пальник складається з корпусу 8, спіралі 5, свічки, 3, наконечника 4, цанги 2, сопла 1, струмопідводу вимикача 7, проводів керування 9. Корпус пальника укладено в пластмасову рукоятку 6.

Для виконання операції зварювання поздовжніх швів корпусу передбачається застосування самохідної зварювальної головки, що виробляє зварювання електродом, що плавиться в CO₂. Вихідними даними для вибору головки зварювання є основні параметри режиму зварювання, наведені в попередньому розділі

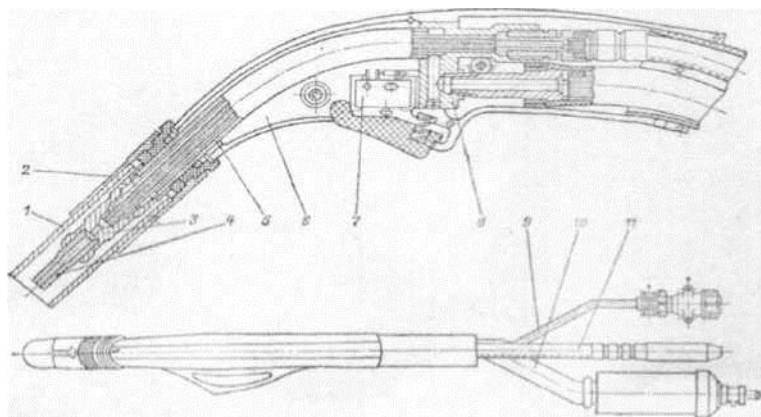


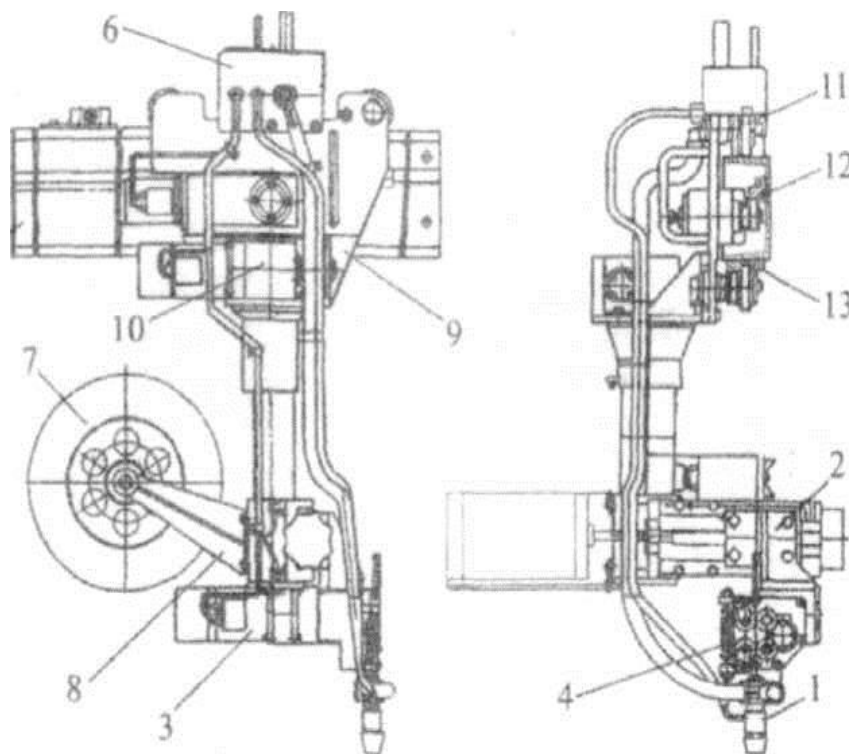
Рисунок 14 – Пальник ГДПН – 506.2

Аналізуючи вихідні дані, вибираємо ГСП-2. Це самохідна підвісна зварювальна головка призначена для зварювання дротом 1,2-1,6 мм на струмах до 500 А. Механізм переміщення головки забезпечує швидкість зварювання 20-60 м/год, а механізм подачі дроту забезпечує швидкість

дроту подачі 150-700м/ч. Як джерело живлення застосовуємо випрямляч ВДГ-505.

НІПТМ для автоматичного зварювання поздовжніх швів електродом, що плавиться, в середовищі CO₂ розроблені зварювальні головки серії ГСП. До складу головки входить самохідна каретка, зварювальний пальник типу ГПА, кронштейн з касетою для дроту, підвісна балка з прямою зубчастою рейкою, механізм подачі дроту, механізми вертикального та поперечного переміщення пальника та розподільна коробка. У комплект головки входять також джерело живлення серії ВСП або ВДУ та блок автоматичного керування.

Схема підвісної самохідної головки ГСП-2 показана на рисунку 15.



1 - пальник; 2 – механізм вертикального переміщення пальника; 3 - механізм поперечного переміщення пальника; 4 - механізм подачі електродного дроту; 5 - напрямна балка; розподільна коробка; 7 - касета з електродним дротом; 8 – кронштейнкріплення; 9 – самохідна каретка; 10- механізм переміщення каретки; 11 - ролики механізму переміщення каретки; 12 - зубчаста рейка; 13 - напрямна механізму переміщення каретки

Рисунок 15 - Схема підвісної самохідної зварювальної головки ГСП-2

Технічні характеристики випрямлячів ВДУ-506 та ВДГ-505 наведені у таблиці 6.

Таблиця 6 - Технічні характеристики випрямлячів ВДУ-506 та ВДГ-505 [8]

Тип	Номінальний струм	Максимальна напруга холостого ходу,	Межа регулювання		ККД, %
			Струм, А	Напруга,	
ВДУ-506	500	82	50-500	18-50	72
ВДГ-505	500	60	665-500	516-40	990

Джерело живлення

Для зварювання серед вуглекислого газу використовуємо універсальний випрямляч ВДУ-506. Універсальні випрямлячі застосовують при ручній та автоматичному зварюванні, зварюванні під флюсом і в захисних газах.

Основою випрямляча є понижуючий трансформатор Т1, що має одну первинну W1 і дві вторинні обмотки W2, з'єднані в дві зворотні «зірки» через зрівняльний реактор Lур. Обмотки виконані алюмінієвим дротом АСПД. Фази первинної обмотки залежно від необхідного режиму з'єднуються за допомогою пакетного перемикача або трикутником або зіркою. З'єднання «трикутником» роблять при роботі з падаючою ВАХ або для першого ступеня регулювання при роботі з жорсткою ВАХ. З'єднання «зіркою» застосовують при жорсткій формі ВАХ для другого ступеня регулювання.

Випрямлювальний блок зібраний за шестифазною схемою на тиристорах Т-160. Тиристири послідовно з'єднані з фазами вторинних обмоток трансформатора Т1.

У ланцюг випрямного струму вбудований лінійний дросель Др1 для згладжування пульсацій струму та зменшення розбризкування. У дроселя є два висновки 1 і 2. Перший висновок відповідає більшій індуктивності та його використовують при роботі з ВАХ падаючої форми та в першому діапазоні жорстких ВАХ; другий – у другому діапазоні жорстких ВАХ.

На рисунку 16 зображено важливу електричну схему.

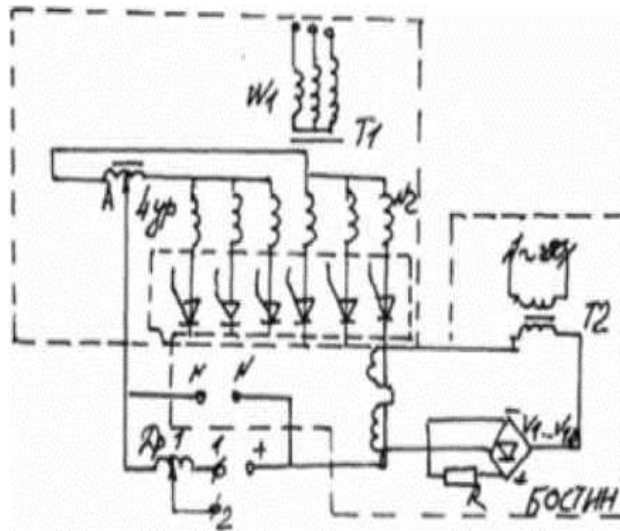


Рисунок 16 - Принципова електрична схема ВДУ-506

До складу випрямляча входить блок фазового керування тиристорами БФП. До складу блоку входять вхідний і фазозсувний пристрій і підсилювач сигналів управління.

У комплект випрямляча входять також додаткові блоки: суматор БС, формувач напруги БФУН, що управляє, блок завдання режиму БЗР.

Суматор - пристрій порівняння, що виробляє сигнал управління, пропорційний зміні напруги мережі до сигналу зворотного зв'язку по струму та напрузі, залежно від технологічних вимог.

Блок завдання режиму призначений для встановлення необхідного технологічного режиму. При цьому сигнал на блок завдання режиму надходить від блоків управління.

Сигнали з виходу суматора і блоку завдання режиму надходять на входи блоку формування напруги, що управляє, який формує сигнал для блоку фазового управління ВФУ і в залежності від умов роботи, способу зварювання, зміні напруги мережі і від сигналів зворотного зв'язку по зварювальному струму і напруги.

Технічна характеристика ВДУ-506 представлена таблиці 7.

Таблиця 7 – Технічна характеристика ВДУ-506

Номінальний зварювальний струм, А	500
Режим роботи, ПВ, %	60
Напруга холостого ходу,	80
Номінальна робоча напруга при роботі на характеристиках, В: жорстких падаючих	50 60
Межі регулювання зварювального струму, А при роботі на характеристиках: жорстких падаючих	60-500 50-500
Межі регулювання робочої напруги, В, при роботі на характеристиках: жорстких падаючих	18-50 22-46
Первинна потужність, кВА, не більше	10
ККД, %, не менше	79
Габаритні розміри, мм	820x620x1100
Маса, кг, не більше	300

2.4 Контроль якості

Якість продукції - сукупність властивостей, що зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності з її призначенням.

Класифікація дефектів

Зовнішні дефекти:

- відхилення від форми та розмірів шва; неправильна форма, різкі переходи від шва до металу, бугристість можуть суттєво списати працездатність виробу;

- підрізи викликають концентрацію напруги, можуть стати причиною тріщин;

- кратери - знижують міцність шва та його робочих перерізів;
- шлакові включення - знижують міцність та пластичність;
- непровари є концентраторами напруги, зменшують переріз шва;
- тріщини – найнебезпечніший дефект. Тріщини можуть бути холодними та гарячими.

Гарячі - утворюються в процесі твердіння металу, внаслідок різного зниження пластичних властивостей та розвитку пластичних деформацій.

Холодні - в результаті протікання фазових перетворень, на етапі завершення охолодження або через деякий час.

Тріщини суттєво знижують працездатність виробу

Всі зовнішні дефекти добре виявляються зовнішнім оглядом і можуть бути виправлені підварюванням, якщо виправлення не приносить більшої шкоди, ніж дефект.

Для виявлення внутрішніх дефектів доцільно вибрати методи контролю, що не руйнують. Вибираємо магнітопорошковий метод. Його вибір обумовлений конструкцією виробу та рядом переваг:

- висока чутливість;
- простота;
- оперативність отримання результатів контролю та їх наочність.

Сутність методу полягає в тому, що на поверхню деталі намагніченої наносять феромагнітний порошок у вигляді суспензії з маслом, мильним розчином або у вигляді магнітного аерозолі. Під силою, що втягує, магнітних полів розсіяні частинки порошку переміщуються по поверхні деталі і накопичуються у вигляді валиків під дефектами. Форма скупчення порошку відповідає обрисам дефектів, що виявляються.

Недоліком методу є неможливість виявлення глибини залягання дефектів у шві.

Матеріали та апаратура: як матеріал для приготування порошків використовують дрібно мелений закис - окис заліза з розміром зерен 5-10 мкм. Також використовують кольорові порошки, спеціально оброблені для свічення у фіолетових променях.

Для намагнічування широко використовують приставні або стаціонарні магніти, що складаються з П-подібного сердечника та обмотки. Промисловість випускає переносні чи стаціонарні дефектоскопи УДМ-9000, УМДЕ-1000 та магнітні силові агрегати МСА-9000 та ін. Дефектоскопи комплектуються пристроями, що намагнічують, різних параметрів. Вибираємо стаціонарний дефектоскоп типу УМД-9000.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Для здійснення технологічних операцій складання та прихватки корпусу нам необхідно розробити пристрій для складання корпусу під прихватку. Пристрій повинен забезпечувати задане розташування деталей поз. 1,2 щодо один одного. Зовнішній вигляд пристрою представлений на рисунку 17.

Основними складальними одиницями пристосування є стійка, стяжка та штанга. Стійка являє собою гвинт з лівим різьбленням, закріплений у завзятій пластині. Штанга є трубою із закріпленими на ній опорними пластинами, а на кінцях труби закріплені перпендикулярно до неї гвинти з правим різьбленням. Тепер, якщо обертати гайку 4 в праву сторону, гвинти будуть «розходитися», забезпечуючи тим самим щільний притиск листа 2 до шаблону 7.

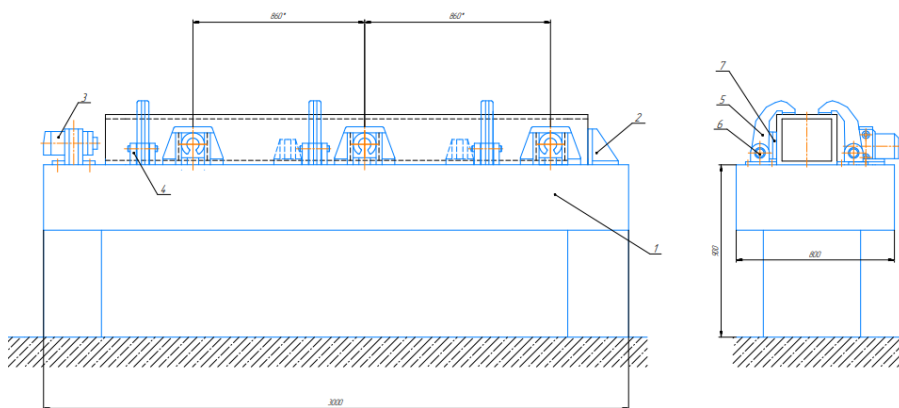


Рисунок 17 – схематичне зображення компоновання виробу в складальному пристосуванні для прихвачування та зварювання

Порядок збирання елементів корпусу у пристосуванні наступний:

- встановлюємо короб у стяжки 2 та обертанням гвинтів 5 з невеликим зусиллям закріплюємо короб у стяжках.
- встановлюємо стійки 1 разом із штангою 3 так, щоб упорна пластина стійки упиралася в торець короба, як показано на малюнок 1.
- на опорні пластини штанги укладаємо лист.
- зверху встановлюємо шаблон 7 та обертанням гайок 6 притискаємо його до верхніх крамок короба.

- обертаючи гайку 4 праворуч, притискаємо лист до шаблону. Збірний вузол готовий до прихватки. Зняття пристосування ведемо у зворотному порядку.

Опис конструкції стану для зварювання корпусу

Для зварювання кутових поздовжніх швів корпусу необхідно розробити стан для зварювання корпусу, який спільно зі зварювальною головкою ГСП-2 буде зварювальною установкою.

Стан повинен забезпечити надійне закріплення складального вузла, поворот його на 45° в одну і іншу сторону, стопоріння складального вузла в положенні під зварювання в човник, а також повинен забезпечувати підвіс і заданий напрямок зварювальної головки.

Вихідними даними для проектування стану є розміри виробу, розміри та особливості установки на напрямні зварювальної головки, а також враховуємо задане технологією положення складального вузла при зварюванні.

Загальний вид зварювальної установки представлений рисунком 18

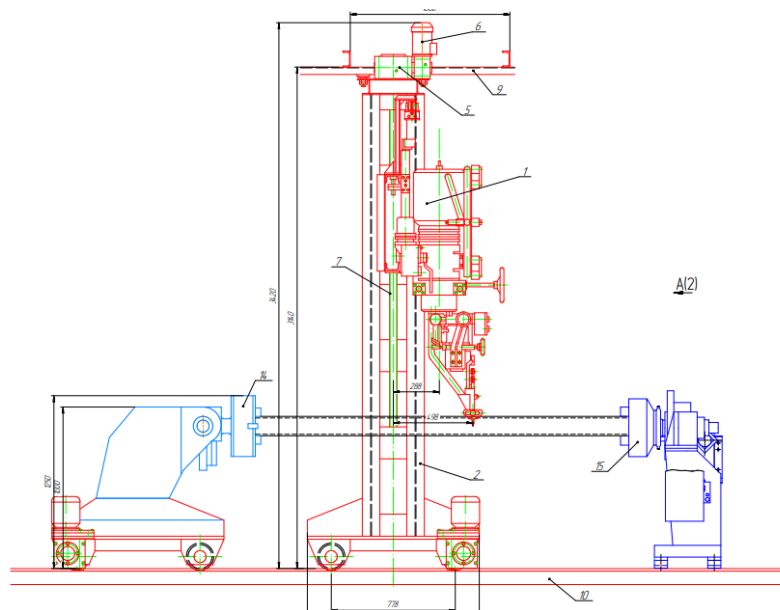


Рисунок 18 - Зварювальна установка

Основою зварювальної установки є портална конструкція 1, яка складається з двох колон та балки, закріпленої на них. На балці закріплені

напрямні, якими переміщаються опорні ролики зварювальної головки 3. Також на балці кріпиться зубчаста рейка, в зачеплення з якої входить зубчасте провідне колесо зварювальної головки, що забезпечує переміщення зварювальної головки вздовж з'єднання. Фіксацію виробу 4 і його поворот забезпечує кантувач 2, що представляє собою рамну конструкцію, зварену зі швелерів, на якій закріплені гвинтові затискачі. Поворот кантувача здійснюється за допомогою рукояті, а стопоріння кантувача в положеннях установки-зняття виробу, і положення під зварювання проводиться за допомогою фіксатора.

Порядок зварювання корпусу у зварювальній установці наступний:

- встановлюємо складальний вузол в кантувач 2 і закріплюємо його за допомогою гвинтових затискачів;
- повертаємо складальний вузол на 45° , і закріплюємо кантувач у цьому положенні за допомогою фіксатора;
- робимо зварювання шва;
- розфіксуємо кантувач і здійснюємо поворот його на 90° у зворотний бік;
- робимо зварювання другого шва;
- розфіксуємо кантувач і переведемо його із положення зварювання в положення установки - зняття виробу, зафіксуємо його в цьому положенні;
- відкручуємо притискні гвинти затискачів та знімаємо виріб.

Опис загальної конструкції стенда-кантувача для складання стріли під прихватку

Для здійснення складання стріли під прихватку та приварювання накладних деталей необхідно розробити стенд-кантувач, що забезпечує задане фіксоване положення деталей щодо один одного, а також забезпечує поворот складального вузла щодо поздовжньої осі.

Основними вихідними даними є креслення стріли

Основними вузлами стенду-кантувача є механізований кантувач універсальний з електродвигуном потужністю 0,8 кВт, і стенд, на якому

розташовані кріпильні пристосування.

Основними кріпильними пристосуваннями є: пристосування для кріплення верхньої провущини, 0, накладки, розташоване на стійках 14, 15. Процес встановлення корпусу та накладних деталей у стенд - кантувач здійснюється відповідно до послідовності, встановленої технологією.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Заходи, що забезпечують безпечні умови праці при зварюванні в захисних газах

Забезпечення безпечних умов праці під час здійснення зварювальних робіт в захисних газах вимагає використання електричних пристроїв, а також взаємодії з горючими та вибухонебезпечними газами, що випромінюють електричні дуги та плазму, спрямовані на інтенсивне розплавлення і випаровування металу і тому подібне. Це створює потребу в заходах безпеки та захисту працівників від можливого виробничого травматизму.

Серед можливих видів виробничого травматизму при електрозварювальних роботах можуть виникнути такі проблеми, як ураження електричним струмом, ураження зору та відкритої поверхні шкіри променями електричної дуги, опіки від крапель металу та шлаків, а також отруєння організму шкідливими газами, пилом і випарами, що виділяються під час зварювання. Затримання місць, поранення та ураження від вибухів балонів стисненого газу під час зварювання посудин із горючих речовин можуть також стати потенційними небезпеками.

Для забезпечення умов, які запобігають зазначеним видам травматизму, рекомендується вживати наступні заходи. З метою уникнення ураження електричним струмом слід дотримуватися конкретних вимог. Корпуси джерел живлення дуги та зварювального допоміжного обладнання повинні бути надійно заземлені. Заземлення слід проводити за допомогою мідного провідника, один кінець якого кріпиться до корпусу джерела живлення дуги за допомогою спеціального болта із написом "Земля", а інший кінець приєднується до заземлювальної шини чи металевого штиря, який вбивається в землю.

Заземлення пересувних джерел живлення слід проводити до їхнього підключення до мережі живлення, а зняття заземлення може відбуватися тільки після відключення від мережі живлення.

Під час виконання зовнішніх робіт із зварювання необхідно забезпечити належні умови, такі як наявність навісу, намету або будки для захисту від дощу та снігу. У випадку неможливості дотримання цих умов, зварювальні роботи не проводяться, а зварювальну апаратуру обов'язково укривають, щоб уникнути впливу вологи.

Персонал, що має відповідальність за електрозварювальне устаткування, повинен відповідально приєднувати та від'єднувати його від мережі, а також систематично слідкувати за його справним станом під час експлуатації. Зварникам категорично заборонено виконувати ці операції.

Всі зварювальні проводи повинні мати надійну ізоляцію, яка відповідає струмам, що застосовуються. Використання проводів із старою або розпатланою ізоляцією абсолютно заборонено.

З метою захисту зору та шкіри від світлових і невидимих променів дуги електрозварники та їх асистенти повинні користуватися щитками, масками або шоломами, в основні отвори яких вставлені спеціальні скла - світлофільтри. Вибір світлофільтра залежить від зварювального струму та характеру зварювальних робіт.

В стаціонарних цехах для запобігання впливу випромінювань встановлюють закриті зварювальні кабінки, а при будівельних та монтажних роботах використовують переносні щити або ширми.

При використанні балонів із стиснутим газом слід дотримуватись установлених заходів безпеки, таких як уникання кидання балонів та їх розташування подалі від нагрівальних пристроїв. Балони має зберігатись у вертикальному положенні.

У процесі зварювання та оббивці шлаків необхідно пам'ятати, що краплі розплавленого металу та шлаків можуть потрапити в складки одягу, кишені та черевики, спричиняючи опіки та пропали одягу. Зварникам рекомендується працювати в спецодязі із брезенту або щільного сукна, у рукавицях та головному уборі. При зварюванні швів у вертикальних, горизонтальних та стельових площинах слід надягати брезентові нарукавники і щільно зав'язувати їх поверх

рукавів у кисті рук. Шви слід зачищати лише після повного остигання та обов'язково в окулярах із простим склом.

Зварювання електродами з якісним покриттям може призводити до особливого забруднення повітря пилом та газами. Склад пилу та газів залежить від вмісту покриття та складу зварюваного металу та електроду. При автоматичному зварюванні кількість газів та пилу значно менша, ніж при ручному зварюванні.

Загально-обмінна штучна вентиляція при зварюванні в середовищі захисних газів

Усунення шкідливих газів та пилу з зони зварювання та подача чистого повітря забезпечується за допомогою місцевої та загальної вентиляції. При облаштуванні зварювальних кабін обов'язково передбачається місцева витяжна система з верхнім, бічним або нижнім відсмоктувачем, яка ефективно видаляє гази та пил безпосередньо з зони зварювання. Загальна вентиляційна система повинна працювати у витяжному режимі, виводячи забруднене повітря з робочих приміщень та забезпечуючи подачу свіжого повітря. У холодний період року повітря підігрівається до температури 20...22°C за допомогою спеціального нагрівача-калорифера.

У процесі зварювання у закритих приміщеннях та замкнутих конструкціях важливо забезпечити надходження свіжого повітря під невеликим тиском через спеціальний шланг безпосередньо в робочу зону зварника. Мінімальний об'єм свіжого повітря повинен становити не менше 30 м³/м. Відсутність вентиляції під час зварювання в закритих приміщеннях та конструкціях є неприпустимою. Вентиляційне обладнання має забезпечити ефективний повітрообмін під час ручного електродугового зварювання з електродами із якісними покриттями у розрахунку 4000...6000 м³ на 1 кг витрати електродів; для автоматичного зварювання під флюсом — приблизно 200 м³ на 1 кг дроту; у випадку зварювання у вуглекислому газі — до 1000 м³ на 1 кг дроту.

Система загально-обмінної вентиляції при зварюванні в атмосфері вуглекислого газу призначена для створення необхідних умов мікроклімату та підтримання чистоти повітря в усьому робочому просторі приміщення. Вона ефективно видаляє зайве тепло в умовах відсутності токсичних викидів, а також у випадках, коли технологічний процес та особливості виробничого обладнання виключають можливість використання місцевої системи витяжної вентиляції.

Розглядаючи чотири основні схеми організації повітрообміну при загально-обмінній вентиляції, можна виділити важливі аспекти, що визначають ефективність цих схем.

Схеми "зверху-вниз" та "зверху-вверх" є доцільними у випадку, коли припливне повітря в холодну пору року має температуру нижчу, ніж температура в приміщенні. У цих випадках припливне повітря, перш ніж досягти робочої зони, нагрівається за рахунок тепла повітря у приміщенні.

Схеми "знизу-вверх" та "знизу-вниз" рекомендуються, коли припливне повітря в холодну пору року попередньо підігрівається, і його температура вища, ніж температура в приміщенні.

В разі виокремлення газів та парів з густиною, що перевищує густину повітря, загально-обмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40% з верхньої, забезпечуючи ефективне усунення забрудненого повітря. У випадках, коли густина газів менша за густину повітря, видалення забрудненого повітря здійснюється у верхній зоні.

Протипожежні заходи на виробничій дільниці

У зварювальних цехах, на будівельно-монтажних площадках, на зварювальних і наплавочних ділянках необхідно суворо виконувати наступні правила, що запобігають можливості виникнення пожежі від іскор, що розлітаються і бризок розплавленого металу:

Робоче місце зварника повинне бути цілком очищене від легкозаймистих або вибухонебезпечних матеріалів. Легкозаймисті рідини і різні горючі

матеріали повинні знаходитись від місця зварювання на відстані не менш 30 м., ацетиленові генератори і балони з горючими газами – на відстані не менш 10 м.

У місцях виконання зварювальних робіт захист від іскор, що розлітаються, і бризок металу повинна забезпечуватися металевими або брезентовими ширмами, на ділянках зварювання повинні бути вогнегасники, шухляди з піском, бочки з водою, різний пожежний інвентар, обов'язково телефонний зв'язок і пристрої для звукових сигналів.

Усі робітники та службовці при надходженні на роботу або при зміні робочих місць повинні бути проінструктовані з протипожежної безпеки і по прийнятому на підприємстві протипожежному режимі. На великих ділянках і в цехах повинні бути офіційно назначені відповідальні за стан протипожежних засобів і виконання протипожежного режиму роботи.

Обов'язково два рази в тиждень перевіряти стан зварювального обладнання.

При гасінні пожежі, що виникла в результаті витті загорання рідин (бензину, гасу, рідких мастильних матеріалів), не можна користуватися водою або рідко-пінним вогнегасниками, необхідні пісок або спеціальні густо-пінні вогнегасники. Відповідальність за протипожежний стан окремих цехів, майстерень, складів і інших об'єктів, а також за своєчасне виконання протипожежних заходів на них покладається персонально на начальників цехів, майстерень, складів і т. д. Тому з усіх питань, зв'язаних із уживанням заходів протипожежної безпеки, необхідно звертатися насамперед до зазначених керівників. При аваріях зварювані роботи допускається робити під спостереженням начальника цеху без письмового дозволу. Після закінчення вогневих робіт зварник зобов'язаний ретельно оглянути місце проведення цих робіт, полити водою легкозаймисті конструкції й усунути порушення, що можуть привести до виникнення пожежі. У даний час існують загальні правила й інструкції про пожежну безпеку для найбільш розповсюджених виробництв усіх міністерств і відомств. Вимоги по пожежній безпеці для різних виробництв

у відповідні правила техніки безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах для цих виробництв.

ВИСНОВКИ

У ході роботи над дипломним проектом був розроблений технологічний процес складання та зварювання стріли підйомного механізму інженерної машини з використанням автоматичного та механізованого зварювання.

ки.

Було досягнуто поставлених завдань:

- проаналізовано базовий варіант виготовлення стріли;
- підібрано та обґрунтовано проектований спосіб зварювання стріли;
- проведено необхідні розрахунки режимів зварювання;
- обрано та обґрунтовано зварювальне та складальне обладнання;
- розроблено технологію складання-зварювання стріли;
- розглянуто питання безпеки та екологічності розробки.

Таким чином, у дипломному проекті в технологічній частині на основі аналізу базового варіанту розроблено проектований варіант технологічного процесу із заміни механізованого зварювання на автоматичне зварювання в середовищі захисного газу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Малиновський В.І., Пасічник А.Є. Процес електродугового зварювання рамних конструкцій: тези доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2023 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. С. 115 – 116.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.
10. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.
11. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.
12. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного

технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

13. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

14. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

15. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня, бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання/ОЯ Гурик, ІБ Окіпний, ВС Сенчишин, СЮ Мариненко, О.І. Король, ТНТУ – 2025. 120с.

16. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

17. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ