

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



к.т.н., доц. М.В. Матвієнко

«20» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

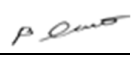
на тему:

Розробка технології наплавлення фланців та дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на геометричні розміри швів

Виконав: студент VI курсу, групи 6121м спеціальності 132 Матеріалознавство за освітньо-професійною програмою Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Власенко Артем Юрійович 

(прізвище та ініціали)

Керівник Лебедєв Володимир Олександрович 

(прізвище та ініціали)

Рецензент Лой Сергій Анатолійович 

(прізвище та ініціали)

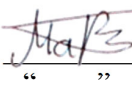
Миколаїв - 2025 р.

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Херсонський навчально-науковий інститут

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ


Гарант освітньої програми
к.т.н., доц. М.В. Матвієнко
“ ” 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

студенту Власенку Артему Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології наплавлення фланців та дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на геометричні розміри швів.
керівник проекту Лебедев Володимир Олександрович, д.т.н.

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

затверджені розпорядженням ХННІ НУК від “17” жовтня 2025 року № 20

2. Строк подання студентом проекту 13 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення виробу, базовий технологічний процес

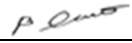
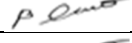
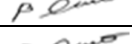
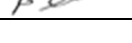
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд літератури. 2. Дослідження впливу характеру подачі електродного дроту при механізованому зварюванні в захисних газах. 3. Розрахунки технології підвищення зносостійкості. 4. Розробка технології виготовлення та наплавлення фланця. 5. Економічна оцінка запропонованих технологічних рішень.

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

1. Тема роботи. 2. Мета роботи, завдання. 3. Конструкція та розміри біметалічного фланця. 4. Аналіз сил діючих на краплю при плавленні електродного дроту. 5. Схема зміни довжини дуги від часу при постійній і ШПЕД. 6. Ідеалізована схема сил, що діють на краплю електродного металу в елементарний період горіння дуги для процесу з ШПЕД. 7. Вивчення впливу ШПЕД на геометричні параметри наплавленого валика. 8. Досліджувані точки А, В, С, D, Е та їх розташування на графіку зміни втрат електродного металу при постійній подачі електродного дроту. 9. Контурний графік зміни від

частоти і шпаруватості ІПЕД в точці Е. 10. Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ІПЕД в точці Е. 11. Хімічний склад наплавлених шарів. 12. Діаграма термкінетичного перетворення аустеніту сталі Вст3сп. 13. Висновки

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Лебедєв В.О., професор		
2	Лебедєв В.О., професор		
3	Лебедєв В.О., професор		
4	Лебедєв В.О., професор		
5	Лебедєв В.О., професор		

7. Дата видачі завдання 17.10.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналітичний огляд літератури.	24.10.2025	
2.	Дослідження впливу характеру подачі електродного дроту при механізованому зварюванні в захисних газах.	07.11.2025	
3.	Розрахунки технології підвищення зносостійкості.	17.11.2025	
4.	Розробка технології виготовлення та наплавлення фланця.	28.11.2025	
5.	Економічна оцінка запропонованих технологічних рішень.	08.12.2025	
6.	Оформлення пояснювальної записки	12.12.2025	

Студент  Власенко А.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Лебедєв В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Актуальність роботи полягає у вирішенні питань регулювання геометричних параметрів шва та розбризкування металу через використання імпульсної подачі електродного дроту. Застосування імпульсної подачі електродного дроту дає можливість керувати величиною струму дуги на стадії зростання краплі, що дозволяє суттєво знизити глибину проплавлення при наплавленні, ступінь розбризкування, покращити механічні властивості.

Метою роботи є визначення впливу імпульсної подачі електродного дроту при механізованому зварюванні на перенос металу, формування наплавленого валика, його геометричні характеристики, втрати електродного металу та удосконалення технології підвищення зносостійкості фланців на трубопроводах заборотної води.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

- виконати аналіз сил діючих на краплю при плавленні електродного дроту з постійною та імпульсною подачею електродного дроту;
- визначити теоретичні передумови управління масопереносом електродного металу імпульсною подачею електродного дроту;
- дослідити роль сили інерції в роботі по перенесенню краплі електродного металу;
- дослідити вплив імпульсної подачі електродного дроту на геометричні параметри наплавленого валика;
- дослідити вплив імпульсної подачі електродного дроту на втрати електродного металу;
- розробити технологію наплавлення фланців;
- розрахувати економічну ефективність прийнятих технологічних рішень.

Структура роботи. Робота складається з титульного аркушу, змісту, вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи – 67 сторінок, кількість рисунків – **28**; таблиць – **15**.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключові слова: зварювальна дуга, електродний дріт, крапля, перенос металу, макрошліф, наплавлений валик, імпульсна подача.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The relevance of the work lies in solving issues related to the regulation of weld geometry parameters and metal spattering through the use of pulsed electrode wire feed. The use of pulsed electrode wire feed makes it possible to control the arc current during the droplet growth stage, which significantly reduces the depth of penetration during surfacing, the degree of spattering, and improves mechanical properties.

The aim of the work is to determine the effect of pulsed electrode wire feed during mechanised welding on metal transfer, the formation of the deposited bead, its geometric characteristics, electrode metal loss and the improvement of technology for increasing the wear resistance of flanges on seawater pipelines.

To achieve this goal, the following **tasks** were set:

- to analyse the forces acting on a drop during the melting of electrode wire with constant and pulsed electrode wire feed;
- to determine the theoretical prerequisites for controlling the mass transfer of electrode metal by pulsed electrode wire feed;
- to investigate the role of inertia in the transfer of the electrode metal drop;
- to investigate the effect of pulsed electrode wire feed on the geometric parameters of the deposited roller;
- to investigate the effect of pulsed electrode wire feed on electrode metal losses;
- to develop a technology for surfacing flanges;
- to calculate the economic efficiency of the adopted technological solutions.

Structure of the work. The work consists of a title page, table of contents, introduction, five chapters, conclusion, and list of references. The total volume of the work is **67** pages, with **28** figures and **15** tables.

Keywords: welding arc, electrode wire, drop

					MP. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст	стор.
Вступ.....	9
1 Аналітичний огляд літератури.....	12
1.1 Характеристика трубопроводів та приєднувальних фланців.....	12
1.2 Базова технологія зварювання фланців з трубопроводами.....	15
1.3 Мета та завдання кваліфікаційної роботи.....	17
2 Дослідження впливу характеру подачі електродного дроту при механізованому зварюванні в захисних газах.....	18
2.1 Аналіз сил, діючих на краплю при плавленні електродного дроту.....	18
2.2 Теоретичні передумови управління переносом електродного металу імпульсною подачею електродного дроту.....	23
2.3 Дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на геометричні параметри наплавленого валика.....	27
2.4 Дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на втрати електродного металу.....	35
2.5 Висновки.....	38
3. Розрахунки технології підвищення зносостійкості.....	39
3.1 Розрахунок хімічного складу наплавленого металу.....	39
3.2 Розрахунок параметрів режиму наплавлення.....	42
3.3 Розрахунок термічного циклу при наплавленні.....	44
3.4 Висновки.....	48
4 Розробка технології виготовлення та наплавлення фланця.....	49
4.1 Конструювання біметалічного фланця.....	49
4.2 Технологічний процес виготовлення та наплавлення біметалічного фланця.....	52
4.3 Висновки.....	56
5 Економічна оцінка запропонованих технологічних рішень.....	58
5.1 Розрахунок собівартості матеріалів.....	59
5.2 Розрахунок витрат на заробітну плату.....	60
5.3 Розрахунок витрат на електроенергію.....	61

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок витрат на амортизаційні відрахування.....	61
5.5 Визначення собівартості ручного аргано-дугового наплавлення при виготовленні біметалічного фланця.....	61
Загальні висновки.....	63
Список джерел інформації.....	65

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Виготовлення систем суднових трубопроводів потрібно на самих різних судах. Як на старих, радянських плавзасобах, так і на нових. Як на пасажирських, так і на вантажних, або рибальських. Суднові трубопроводи – це артерії та вени, по яких протікають найважливіші рідини для функціонування судна. У разі несправності будь-якої з систем, використовувати плавзасіб вже не можна, його необхідно відправляти на ремонт [1]

Основними проблемами, через які потрібний сервіс, є гідроерозійні і корозійні пошкодження. Якщо в ході діагностики виявляються подібні неприємності, труби необхідно терміново міняти [2].

Для підвищення працездатності використовують зміцненням матеріалу (робочої поверхні деталі) під якою мають на увазі сукупність технологічних операцій, спрямованих на підвищення міцності та інших механічних та експлуатаційних властивостей. Необхідність широкого застосування різних методів зміцнення при виготовленні та ремонті пояснюється з одного боку постійно зростаючими вимогами до міцності та зносостійкості деталей, а з іншого - можливістю зменшення їхньої маси, заміни дорогого та дефіцитного матеріалу дешевшим і доступнішим.

Усі методи зміцнення можна умовно поділити на дві групи.

Перша – методи, що ґрунтуються на зміні будови матеріалу шляхом пластичної деформації, термічної та термомеханічної обробки або їх спільного використання;

Друга – методи, засновані на зміні складу поверхневого шару матеріалу шляхом його хіміко-термічної обробки, нанесення покриттів з інших матеріалів, наплавлення та ін. Другу групу методів певною мірою можна віднести до плакування матеріалу. Можливі проміжні (комбіновані) методи зміцнення. Наприклад, зміцнення тертям цементованих поверхонь, наплавлених та цементованих поверхонь та ін.

До першої групи методів зміцнення відносяться: накатка роликками, ультразвукова обробка, об'ємна і поверхнева загартування, високо- та

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

низькотемпературна термомеханічна обробка, електромеханічне зміцнення, зміцнення тертям та ін. Кожен з них найбільш ефективний за певних умов експлуатації деталей.

Сутність накатки роликами полягає у зміні поверхневого шару шляхом пластичної деформації. Під впливом деформуючого елемента та взаємному відносному переміщенні інструменту та деталі нерівності раніше обробленої поверхні пластично деформуються, внаслідок чого зменшується шорсткість та зміцнюється поверхневий шар. Таким чином, фізична сутність зміцнення полягає у гальмуванні дислокацій, у створенні перешкод для їхнього переміщення.

Особливість ультразвукової обробки полягає в тому, що спеціальний інструмент (гладилка), вібруючи з частотою ультразвуку і певною амплітудою зміщення, створює ударний вплив на поверхню, що зміцнюється, піддаючи її більш інтенсивному пластичному деформуванню.

Сутність електромеханічного зміцнення полягає в тому, що в процесі обробки через місце контакту інструменту та деталі проходить струм великої сили та низької напруги, внаслідок чого гребінці мікронерівностей сильно нагріваються та під тиском інструменту пластично деформуються та згладжуються, при цьому поверхневий шар зміцнюється за аналогією з термомеханічною обробкою.

Сутність електроіскрового легування полягає у використанні явища спрямованого руйнування металу електродів під дією самостійного електричного розряду. Цей метод застосовується при нанесенні на повік струмопровідних матеріалів шарів зі сплавів, стійких до агресивних середовищ, високих температур, зношування та ін [3].

Важливим технологічним процесом підвищення експлуатаційних характеристик трубопроводів є наплавлення, яке дозволяє:

- відновити геометричні розміри зношених ділянок вузлів і деталей замість виготовлення нових;

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підвищити зносостійкість, термостійкість, корозійну стійкість деталей і вузлів, шляхом нанесення на їх поверхню сплавів, що володіють необхідним комплексом властивостей;

- виготовити біметалічні вироби з метою зниження витрати коштовних кольорових металів і високолегованих сталей.

Важливою частиною трубопроводів забортної води є приєднувальні елементи (кільця і фланці), які виготовлені із латуні марки Л90.

Для транспортування соленої води трубопроводи виготовляють із сплавів типу МНЖ 5-1. Замість латунних фланців доцільно використовувати біметалічні, які виготовляються з дешевих сталейних заготовок з наплавленням на ущільнювальні поверхні корозійностійкого матеріалу.

Імпульсна подача електродного дроту суттєво впливає на геометричні параметри наплавленого валика, механічні та експлуатаційні характеристики наплавленого металу, втрати електродного металу. Тому її вплив при зварюванні представляє науковий інтерес.

В магістерській роботі продовжується та розвивається тема, яка розглядалася в бакалаврській атестаційній роботі [4]. Наведено визначення впливу імпульсної подачі електродного дроту при механізованому зварюванні на перенос металу, формування наплавленого валика, його геометричні характеристики та втрати електродного металу.

В роботі розглянуте підвищення зносостійкості елементів трубопроводу за рахунок наплавлення. При цьому планується зниження собівартості фланців.

1 Аналітичний огляд літератури

1.1 Характеристика трубопроводів та приєднувальних фланців

Суднові трубопроводи складають великий обсяг робіт у загальному циклі побудови сучасних суден. З'єднання елементів трубопроводу виконують за допомогою фланців, які мають просту конструкцію та надійно з'єднують елементи трубопроводів. Фланці для трубопроводів забортної води виготовляють з латуні марки Л90, а далі приварюють ручним аргано-дуговим зварюванням з використанням дроту марки Бр.КМЦ 3-1 для мідних труб та марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 для мідно-нікелевих труб. Виготовлення латунних фланців виконується за допомогою лиття, ковальської та механічної обробки. Процес виготовлення фланців виконується у різних цехах з використанням високо коштовних матеріалів. Для зняття напружень в мідно-нікелевих елементах використовують відпал [5].

Конструкція латунного фланця показана на рисунку 1.1.

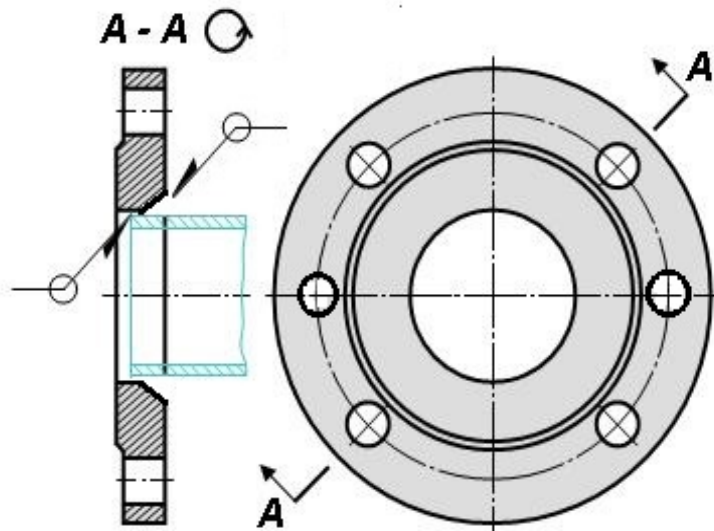


Рис. 1.1 Латунний фланець для суднових трубопроводів

При виготовленні трубопроводів забортної води застосовують труби зі слідуючих матеріалів: мідні (МЗР), мідно-нікелеві (МНЖ5-1). Матеріал для труб вибирають залежно від середовища, тиску і температури. Для з'єднання

					MP. 132. 6121м. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

труб широко застосовують фланці У зниженні трудомісткості робіт по виготовленню судових трубопроводів велику роль відіграє спеціалізація виготовлення деталей фланцевих з'єднань. Суднові фланці (рис 1.2), крім забезпечення надійності й герметичності, повинні бути найменш матеріаломісткими не тільки з міркувань економії матеріалу, але і з принципів полегшення устаткування судна [6].

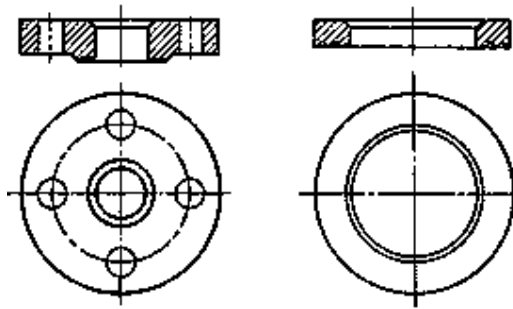


Рис. 1.2 Судновий фланець та приварне кільце

Основні вимоги до фланцевих з'єднань труб:

- на поверхні фланця та приварного кільця, а також відбортованої частини труби не повинні бути раковини, тріщини та інші дефекти;
- з'єднання трубопроводів з умовним тиском менш 1,6 МПа необхідно використовувати напівчисті болти. Для трубопроводів з умовним тиском більш 1,6 МПа - тільки чисті болти. З'єднання фланців за допомогою чорних болтів і гайок не допускається;
- для забезпечення необхідної щільності з'єднань труб між фланцями встановлюють прокладки. Матеріал прокладок вибирають залежно від температури, тиску і роду робочого середовища.

З метою отримання необхідної щільності на ущільнюючих поверхнях фланцевих з'єднань роблять спеціальні ущільнювальні канавки у вигляді двох-трьох концентричних кіл глибиною 0,5...0,8 мм. Необхідне ущільнення фланцевого з'єднання забезпечується за рахунок створення тиску при обтисненні прокладки під час монтажу з'єднання.

Мідно - нікелеві труби використовують для трубопроводів заборотної води при температурі робочого середовища до 350°C і швидкості води до 1,2...3,0 м/сек.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сплаву МНЖ 5-1, (%) [7]

Cu	Ni	Fe	C	Si	Mn	S	P	Zn
90.6-93.7	5-6.5	1-1.4	до 0.03	до 0.15	0.3-0.8	до 0.01	до 0.04	до 0.5

Матеріал МНЖ 5-1 (см. табл. 1.1) не схильний до корозійного розтріскування, володіє хорошими механічними властивостями, добре обробляється тиском в гарячому і холодному стані. Зварювання трубопроводів виконують із застосуванням плавких електродів, в середовищі інертного газу аргону, а також із застосуванням неплавких електродів.

На ущільнюючій поверхні при наплавленні необхідно щоб у місці контакту хімічний склад був однаковий зі складом зварювального дроту (таблиця 1.2). При наплавленні мідно - нікелевого сплаву на сталь виконується перехід основного металу у наплавлений в залежності від способу наплавлення.

Наплавлення виконується механізованим зварюванням плавким електродом у середовищі аргону, ручним аргано-дуговим зварюванням неплавким електродом, плазмовим способом. Найбільш мінімальне проплавлення основного металу забезпечується при використанні плазмового наплавлення і необхідний склад наплавленого металу можна отримати вже у першому або другому шарі. Але виконання зварювання труби з фланцем плазмовим способом дуже важко, тому цей спосіб широко не використовується.

З метою заміни високо коштовних латунних фланців у кваліфікаційної роботі розглянуто використання біметалічних фланців, виготовлених зі сталі ВСтЗсп з наплавленням ущільнювальної поверхні корозійностійким матеріалом марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 (см. табл. 1.2).

У кваліфікаційної розглянуто роздільний спосіб: виготовлення біметалічного виробу (фланця) з попереднім наплавленням ущільненої

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

поверхні фланця плазмовим способом. Зварювання фланця з трубою ручним або механічним способами; механізоване видалення підсилення шва на проточному станку.

Таблиця 1.2 Хімічний склад матеріалу МНЖКТ 5-1-0.2-0.2 (%) [6]

Ni	Fe	C	Si	Mn	Ti	Cu	Pb	Zn	Домішок
5-6.5	1-1.4	до 0.03	0.15- 0.3	0.3- 0.8	0.1- 0.3	90- 93.45	до 0.005	до 0.5	всього до 0.7

Зварювальний дріт МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 на мідній основі служить для зварювання та наплавлення мідно-нікелевих сплавів. Основні властивості дроту визначаються вдалим поєднанням основних і легуючих компонентів які оптимізують мікроструктуру сплаву. Нікель, мідь та залізо забезпечує стійкість до корозії і пластичність, поєднання марганцю, кремнію та титану підвищує міцність зварного шва і захищає його від утворення окислів міді. Дріт виробляється діаметром 1; 2; 3; 4 і 5мм згідно ГОСТ 16130-90.

Цей дріт використовують для ручного і механізованого зварювання в захисних газах наступних металів: бронзи і міді, сталі і латуні, а також при наплавленні на сталь. Зварювання виконують ручним способом в середовищі аргону.

1.2 Базова технологія зварювання фланців з трубопроводами

При виготовленні судових трубопроводів, враховуючи великий обсяг зварювальних робіт, доцільно використовувати автоматичне або механізоване зварювання, що дозволить в багатьох випадках відмовитися від ручного дугового зварювання.

Залежно від матеріалу труб, зварювання елементів в кожному випадку виконується з дотриманням своїх особливостей і способів (аргоно-дугове зварювання неплавким електродом). Якість зварного з'єднання значною мірою залежить від підготовки з'єднання під зварювання.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 01. ПЗ.				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					15

Фланці повинні бути складені з трубою так, щоб зазор між ними не перевищував 0,5 мм. Відростки на мідно - нікелеві труби ставлять без відбортовки крайок. Перед закріпленням крайки поверхні вузлів, що підлягають зварюванню, необхідно очистити від окислів і забруднень металевою щіткою або іншими способами до чистого металу. Крайки не повинні мати задирок.

При виготовленні мідно-нікелевих труб застосовують:

- фланці і кільця з латуні марки Л90;
- відгалужувальні штуцери і бобишки з бронзи марки Бр.АМц-9-2;
- для зварювання труб з латунними фланцями – зварювання неплавким електродом у середовищі аргону.

У цьому випадку використовується дріт марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 діаметром 1,0; 1,2 і 1,4 мм. В якості захисних газів застосовується аргон чистий (при зварюванні малих і середніх товщин); при зварюванні металу великої товщини найбільш доцільне застосування азоту, що забезпечує великі тепловкладення в зварюваний метал [8]. Зварювання плавким електродом проводиться на постійному струмі зворотної полярності без попереднього підігріву.

Якість приварювання фланців, відростків штуцерів і інших деталей до труб перевіряють шляхом зовнішнього огляду зі застосуванням лупи 5...10-кратного збільшення і гідравлічним випробуванням.

Фланці під час приварювання до труб і охолодженні коробляться. Для усунення викривлення фланці проточують на верстаті. Товщина шару, що знімається з робочою поверхні не повинна бути більше 1,0 мм.

Одночасно з проточкою торця фланця підрізають і виступаючу кромку труби. Ущільнювальні канавки оновлюють шляхом проточки [9].

Якість зварювання до труби з'єднувальних елементів і дотримання при цьому перпендикулярності торцевої поверхні приварюваних елементів до осі труби є головним для будь-якого з'єднання трубопроводу. Не менш важливо також і наявність на приварних поверхнях фланців ущільнюючих рисок, які не

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

повинні мати забоїн і пошкоджень. Після гідравлічних випробувань в цеху труби готують до відправки на судно маркують, продувають повітрям, закривають заглушками і здають ВТК.

1.3 Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою роботи є удосконалення технології підвищення зносостійкості фланців.

Для виконання цієї мети необхідно виконати наступні питання:

- розробити конструкцію біметалічного фланця замість латунного;
- визначити найбільш оптимальний варіант виготовлення біметалевого фланця при різних способах наплавлення;
- розрахувати кількість наплавлених шарів, необхідних для отримання корозійностійкого матеріалу;
- розрахувати режими наплавлення;
- розрахувати термічний цикл при напавленні;
- виконати дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту при механізованому зварюванні на перенос металу, формування напавленого валика, його геометричні характеристики та втрати електродного металу;
- визначити собівартість та трудомісткість підвищення зносостійкості фланців.

					MP. 132. 6121м. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2 Дослідження впливу характеру подачі електродного дроту при механізованому зварюванні в захисних газах

2.1 Аналіз сил, діючих на краплю при плавленні електродного дроту

Згідно [10-12] для суцільних електродних дротів діаметром 0,6...1,6 мм при зварюванні/наплавленні в залежності від енергетичних параметрів дуги реалізується процес з примусовими короткими замиканнями або з крупнокрапельним перенесенням електродного металу (рис. 2.1).

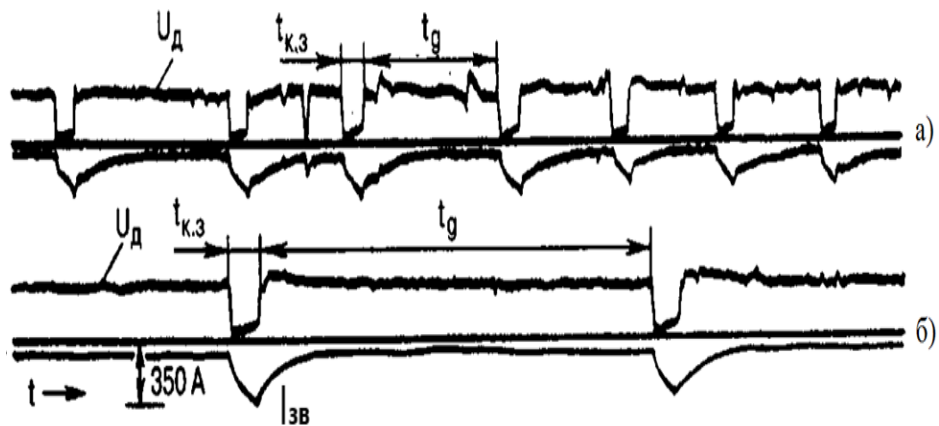


Рис. 2.1 - Характерні осцилограми напруги U_d і сили струму $I_{зв}$ процесу дугового зварювання в CO_2 з примусовими короткими замиканнями (а) і крупнокрапельним перенесенням електродного металу з короткими замиканнями (б) [10-12]

Основними параметрами процесу дугового зварювання з короткими замиканнями є: середня напруга U_d , середня сила струму $I_{зв}$, середня напруга дуги $U_{d,ср}$, максимальна сила струму I_{max} , мінімальна сила струму I_{min} , тривалість горіння дуги t_d , тривалість короткого замикання $t_{кз}$, тривалість циклу $T=t_d+t_{кз}$, швидкість наростання сили струму при короткому замиканні розрядного проміжку краплею $dI_{кз}/dt$ та швидкість спаду сили струму при горінні дуги $dI_{зв}/dt$ [13]. Незалежно від виду перенесення електродного металу (з примусовими короткими замиканнями, крупнокрапельне), весь процес від утворення до переходу краплі електродного металу в зварювальну ванну можна розділити на ряд подібних циклів (рис. 2.2).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

18

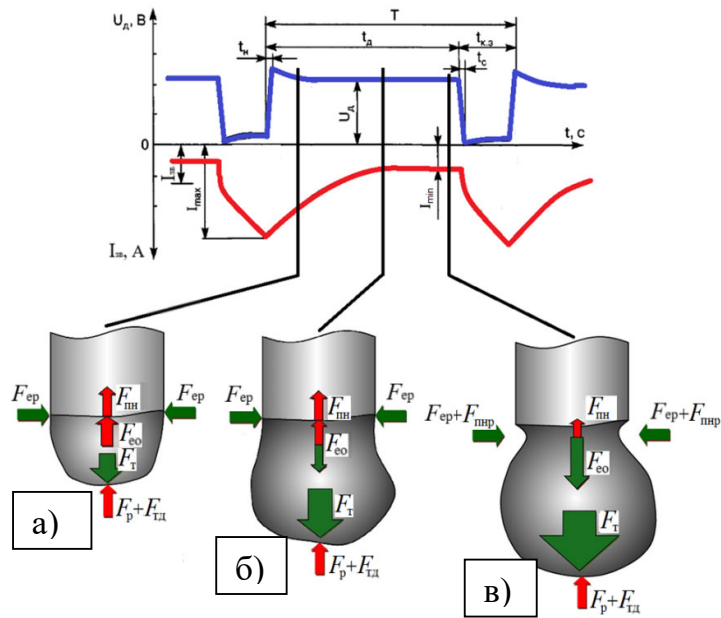


Рис. 2.2 - Ідеалізована схема зміни напруги і сили струму на протязі одного циклу при наплавленні в вуглекислому газі з короткими замиканнями і схема сил діючих на краплю електродного металу починаючи з моменту запалювання дуги до моменту короткого замикання процесу з постійною подачею електродного дроту

Протягом усього циклу (рис. 2.2) від утворення і до переходу краплі в зварювальну ванну на неї діють такі основні сили : сила тяжіння F_T , сила поверхневого натягу $F_{пн}$, електродинамічна сила F_e (радіальна F_{ep} і осьова F_{eo}), реактивний тиск F_p випаровуючого з поверхні краплі металу і виділення газу, сила тиску потоків плазми і бомбардування зарядженими частинками $F_{тд}$; сила вибуху перемички між краплею і електродом $F_{вп}$ (на рисунку не вказана). Крім цих сил, в ряді випадків може мати значний вплив сила тиску струменя захисного газу та ін. [14-18].

Для розглянутого циклу (рис. 1.2) умовно можна виділити три характерних ділянки, аналіз яких представляє інтерес з точки зору оптимізації управління перенесенням електродного металу. На першій ділянці (рис. 2.2-а) після запалювання дуги на краплю електродного металу діють: сила тяжіння F_T і радіальна складова електродинамічної сили F_{ep} , які сприяють відділенню краплі

електродного металу і її переносу в зварювальну ванну. Сила тяжіння робить істотний вплив тільки при значному розмірі краплі і сприяє її відриву при виконанні наплавлення в нижньому положенні. Електродинамічна сила F_e виникає при проходженні електричного струму по провіднику через його взаємодії з власним магнітним полем. Якщо перетин провідника постійний, то ця сила спрямована по радіусу до осі провідника і прагне його стиснути. Зміна поперечного перерізу провідника можлива в місці переходу від твердого електрода до рідкої краплі. В цьому випадку радіальна складова електродинамічної сили F_{ep} буде сприяти утворенню перешийка і відриву краплі.

Такі сили як: сила поверхневого натягу $F_{пн}$, реактивний тиск випаровуючого з поверхні краплі металу і виділення газу F_p , сила тиску дуги (потоків плазми і бомбардування зарядженими частинками) $F_{тд}$, осьова складова електродинамічної сили F_{eo} , на першій ділянці перешкоджають відриву краплі електродного металу.

Місцем прикладання сили $F_{пн}$ є такий перетин на рідкій краплі, в якому ця сила мінімальна. До утворення перемички, місцем докладання сили $F_{пн}$ вважається площина, що проходить через кордон між твердим і рідким металом (рис. 2.2-а).

Осьове зусилля $F_{пн}$, сили поверхневого натягу, на першому умовному етапі, спрямоване від меншого перетину до більшого, тобто від розплавленої частини електродного дроту до нерозплавленої.

Реактивний тиск випаровуючого металу і виділення газу F_p [19] з'являється на електроді і виробі в зоні активних плям дуги, де розплавлений метал знаходиться при температурі, близької до температури кипіння. З їх поверхні відбувається інтенсивне випаровування металу, а іноді і газовиділення. Такі потоки парів спрямовані перпендикулярно до випаровуючої поверхні. Оскільки пари в дузі іонізуються, то їх подальший напрямок визначається напрямом власного або зовнішнього магнітного поля в розряді електродуги.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

20

Сила тиску потоків плазми дуги (тиск дуги) $F_{\text{тд}}$ [19] обумовлена впливом випаровування металу і електродинамічних сил. У більшості дуг при зварюванні з електродом, що плавиться спостерігаються одночасно два потоки плазми (катодний і анодний), що рухаються від електродів назустріч один одному. Потужність цих потоків неоднакова. Більш потужний потік пригнічує слабкий і визначає результуюче зусилля, що діє на електрод і ванну. Плазмові потоки, часто володіють великою кінетичною енергією, роблять значний тиск на електроди.

На першій ділянці крапля електродного металу залишається на торці дроту, оскільки баланс істотно зміщений в сторону тих сил, які перешкоджають її відділенню:

$$F_m + F_{\text{зр}} \ll F_{\text{тн}} + F_{\text{зо}} + F_p + F_{\text{дд}} \quad (2.1)$$

Друга ділянка (рис. 2.2-б), характеризується збільшенням маси розплавленого електродного металу і, як наслідок, збільшенням сили тяжіння $F_{\text{т}}$. Крапля приймає більш витягнуту в осьовому напрямку форму. Перемичка ще не утворилася, але радіальна складова електродинамічної сили $F_{\text{ер}}$ зростає до свого максимального значення, осьова $F_{\text{ео}}$ - навпаки прагне до мінімуму. Таким чином, тиск на кордоні рідкого і твердого металу збільшується. Осьова складова сили поверхневого натягу, що перешкоджає відділенню краплі, поступово зменшується. Однак, до утворення перемички, вона буде більше радіальної складової сили поверхневого натягу в кілька разів. Зменшення довжини дуги збільшує силу тиску дуги на краплю електродного металу. Сила реактивного тиску випаровуючого металу $F_{\text{р}}$ практично не змінюється. У зв'язку з цим система сил діючих на краплю на другій ділянці, можна висловити через нерівність:

$$F_m + F_{\text{зр}} \leq F_{\text{тн}} + F_p + F_{\text{дд}} \quad (2.2)$$

Третя ділянка (рис. 1.2-в), характеризується появою перемички між торцем електрода і краплею розплавленого електродного металу. На цій ділянці через великий тиск дуги (так як її довжина мінімальна) і великого обсягу розплавленого електродного металу, крапля виходить зі стану відносної

рівноваги і активно коливається на торці електродного дроту. При цьому не виключені короточасні короткі замикання без переходу краплі в зварювальну ванну. Повторне запалювання дуги відкидає краплю вгору, не відриваючи її від електрода, після чого крапля прискорено, щодо електродного дроту, починає повторний рух до зварювальної ванни. Також, в таких випадках, можливий варіант відриву краплі і викид її за межі зони зварювання, збільшуючи коефіцієнт розбризкування.

На даній ділянці крапля електродного металу прагне прийняти кулясту форму. Сила тяжіння F_m досягає свого максимального значення. Місцем прикладання електродинамічної сили F_{ez} , вважається площина, в якій перетин рідкої перемички мінімальний. Робота радіальної складової електродинамічної сили F_{ep} і радіальної складової сили поверхневого натягу $F_{пн}$ спрямована на потоншення рідкої перемички і відділення краплі від торця електродного дроту. Також на відділення краплі після утворення рідкої перемички, на відміну від першої ділянки, спрямована робота осьової складової електродинамічної сили F_{ep} .

Осьова складова сили поверхневого натягу $F_{пн}$, сила реактивного тиску випаровуючого металу F_p і сила тиску дуги $F_{тд}$ перешкоджають відділенню краплі електродного металу. Однак, загальний баланс сил зміщений в сторону сил, що відокремлюють краплю електродного металу:

$$F_m + F_{зр} + F_{тпр} + F_{зо} > F_{пнo} + F_p + F_{дд} \quad (2.3)$$

Наступним етапом буде коротке замикання. Перехідна крапля електродного металу торкається зварювальної ванни, дуга гасне, напруга різко зменшується, а сила струму в ланцюзі зростає. Зі збільшенням сили струму зусилля електродинамічної сили F_e досягає максимуму (зусилля пінч-ефекту [7, 10]), що призводить до прискорення переходу краплі в ванну і стоншування перемички між електродом і краплею. Стоншена перемичка перегрівається прохідним струмом і руйнується шляхом вибухового впливу в процесі закипання металу. Потім напруга різко зростає, запалюється знову дуга, що свідчить про завершення короткого замикання.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Існуючі способи управління перенесенням електродного металу характеризуються тим, що в певний встановлений момент часу, в систему сил діючих на краплю електродного металу вносяться зміни, покликані вплинути на хід утвореної краплі і її перенесення в зварювальну ванну. Дані дії на перенесення електродного металу здійснюються за рахунок як залучення зовнішніх додаткових сил (процеси з імпульсною подачею захисних газів, ШЕД, з накладенням зовнішніх ЕМВ), так і за рахунок активації (посилення) ряду діючих на краплю електродного металу сил (як у імпульсно-дуговому процесі і процесі з варіюванням складу захисного газу).

Таким чином, проведений аналіз системи сил, що діють на краплю електродного металу при постійній подачі електродного дроту, показав, що найбільш перспективним для зовнішнього технологічного впливу на перенесення електродного металу в розглянутому циклі є його третя ділянка.

2.2 Теоретичні передумови управління переносом електродного металу імпульсною подачею електродного дроту

У попередньому розділі встановлено, що вибухове руйнування перемички, запалювання дуги, короткі замикання без переходу краплі електродного металу - всі ці процеси безпосереднім чином впливають на величину розбризкування електродного металу при дуговому зварюванні в CO_2 . Щоб мінімізувати кількість втрат електродного металу, необхідно максимально скоротити тривалість короткого замикання, зменшити поперечний переріз рідкої перемички, що з'єднує сформовану краплю електродного металу з нерозплавленим торцем електродного дроту; поліпшити умови запалювання дуги після короткого замикання; збільшити ймовірність переходу краплі в ванну рідкого металу.

У свою чергу, основними чинниками, що впливають на глибину проплавлення, є [13-19]: виліт електрода, діаметр електродного дроту, полярність струму (пряма, зворотна), напруга на дузі, сила струму, швидкість зварювання/наплавлення, кут нахилу електрода.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

23

Основним фактором, що впливає на глибину проплавлення, при незмінності і сталості на всьому протязі наплавлення інших факторів, є сила струму. За даними [13], збільшення сили струму на 100 А призводить до збільшення глибини проплавлення в середньому на 1 мм (в разі зварювання стикових швів без оброблення), так як збільшується теплова потужність і тиск дуги на рідкий прошарок металу ванни. Силовий вплив дуги P , як показали результати досліджень [13], залежить від сили струму I наступним чином :

$$P = kI^2 \quad (2.4)$$

де k - коефіцієнт, що залежить як від довжини дуги, так і від деяких інших чинників.

При цьому, збільшення довжини дуги без зміни сили струму призводить до зменшення її силового впливу як на електродний дріт, так і на розплавлений метал зварювальної ванни. Внаслідок зменшення силового впливу дуги на розплавлений метал зварювальної ванни він менш інтенсивно відтісняється в її хвостову частину, від чого товщина рідкого прошарку металу під дугою збільшується, а глибина проплавлення зменшується.

Таким чином, зменшення силового впливу дуги можливе за рахунок збільшення при ІПЕД довжини дуги при незмінних: швидкості зварювання / наплавлення; діаметрі електрода; куті нахилу електрода; полярності; вильоті електрода; середньої напруги; середньої швидкості подачі електродного дроту.

Так як цикл ІПЕД складається з ділянок подачі електродного дроту і її зупинки, середня довжина дуги $l_{i,ср}$ збільшується, в порівнянні з середньою довжиною при постійній подачі електродного дроту $l_{ср}$. Це обумовлено тим, що на ділянці паузи t_n , коли швидкість подачі електродного дроту дорівнює 0 дуга подовжується і набуває максимального свого значення $l_{i,маx}$ до моменту старту подачі електродного дроту (рис. 2.3). Далі йде ІПЕД t_{im} , за час якого довжина дуги l зменшується з максимального свого значення до 0. Дріт зупиняється, крапля переходить в зварювальну ванну, запалюється дуга і процес повторюється. Таким чином, знижується силовий вплив дуги через її подовження, а отже зменшуватися повинна і глибина проплавлення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

24

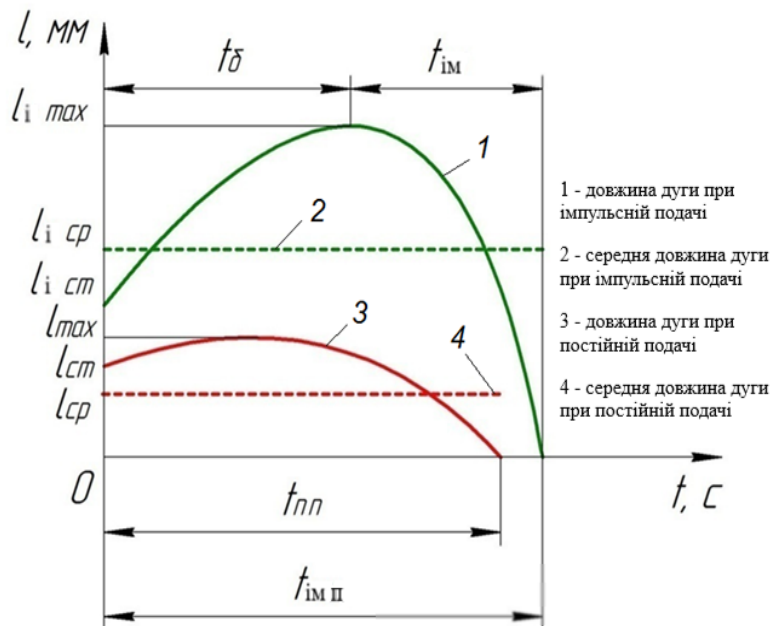


Рис. 2.3 - Схема зміни довжини дуги від часу при постійній і ІПЕД

Оскільки тривалість горіння дуги при ІПЕД $t_{ім.п}$ залежить від частоти f і шпаруватості S імпульсного процесу, то у випадках, коли частота імпульсної подачі буде збігатися або буде більше природної частоти коротких замикань при постійній подачі електродного дроту v , тривалість горіння дуги імпульсного процесу $t_{ім.п}$ дорівнюватиме або менше тривалості горіння дуги при постійній подачі електродного дроту $t_{п.п}$.

Крім зниження глибини проплавлення, за допомогою ІПЕД можливо потоншення і зменшення тривалості існування перемички, вибух якої при короткому замиканні є основною причиною розбризкування. Один із способів - навантажування краплі електродного металу додатково силою інерції $F_{ін}$ (рис. 2.4).

При ІПЕД вона буде виникати в момент розгону електродного дроту (рис. 2.4-б) і при гальмуванні (рис. 2.4-в). На першій ділянці (рис. 2.4-б), величина сили інерції буде прямо пропорційна добутку маси краплі в момент початку подачі електродного дроту і прискорення, з яким електродний дріт виходить на задану швидкість.

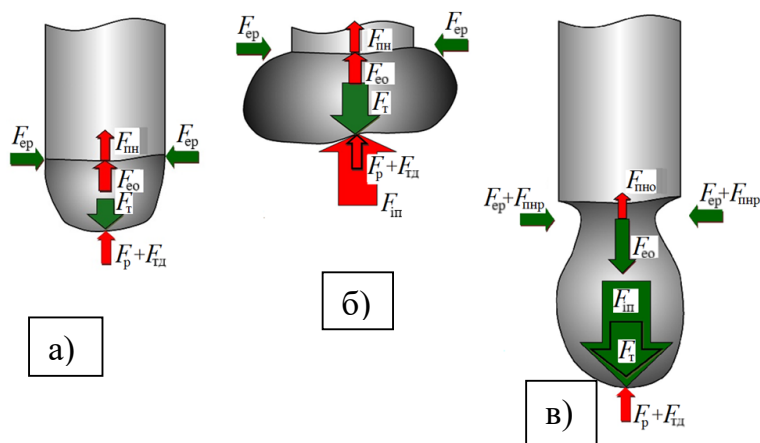


Рис. 2.4 - Ідеалізована схема сил, що діють на краплю електродного металу, в елементарний період горіння дуги для процесу з ПЕД: а - сили діють на краплю після запалювання дуги; б - сили діють в момент старту імпульсу подачі; в - сили діють в момент зупинки подачі електродного дроту

Напрямок дії сили інерції буде протилежно руху електродного дроту, тому на даній ділянці робота сили інерції буде спрямована на утримання краплі електродного металу на торці електродного дроту:

$$F_m + F_{зр} \ll F_{ин} + F_p + F_{до} + F_{зо} + F_{тн} \quad (2.5)$$

Під впливом сили інерції, крапля електродного металу деформується з кулястої до еліпсоїдної форми. Така форма краплі може зберігатись аж до початку ділянки гальмування електродного дроту. Як тільки дріт входить в режим гальмування, сила інерції змінює свій напрямок на протилежний. Вона разом з іншими силами, які працюють на відрив краплі, буде сприяти перенесенню електродного металу в зварювальну ванну, істотно змінюючи систему сил, що діють на краплю (рис. 2.4-в):

$$F_m + F_{зр} + F_{инр} + F_{зо} + F_{тн} \gg F_{пво} + F_p + F_{до} \quad (2.6)$$

Система сил на першій ділянці (рис. 2.4-а), при ПЕД не буде відрізнятися від аналогічного ділянки з постійною подачею електродного дроту (рис. 2.2-а).

Зміна умов переносу електродного металу може викликати не тільки зміни втрат електродного металу і глибини проплавлення, але також інших геометричних параметрів валика наплавленого металу (опуклості, ширини, кута

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

сполучення). Крім цього, надання краплі електродного металу прискорення може позитивно впливати на: перехід легуючих елементів; прямі витрати електроенергії; санітарно-гігієнічну обстановку в зоні наплавлення.

2.3 Дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на геометричні параметри наплавленого валика

Як зазначалося раніше, управління геометричними параметрами валика наплавленого металу, глибиною проплавлення основного металу, є актуальним завданням для процесу наплавлення. До геометричних параметрів наплавленого валика згідно ГОСТ 2601-84 відносяться: опуклість (h), ширина (w), глибина проплавлення (p), і ін. Крім цих параметрів, регламентованих даним нормативним документом, найчастіше для характеристики форми валика так само використовується [13] кут сполучення (α) валика наплавленого металу з поверхнею виробу (рис. 2.5).

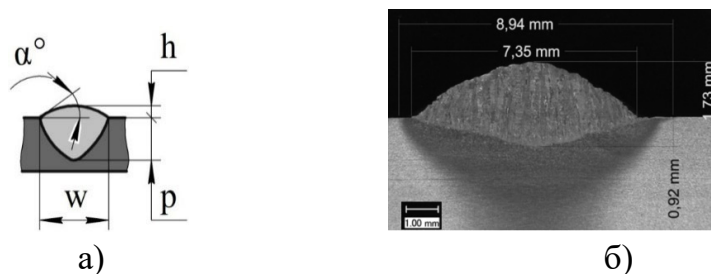


Рис. 2.5 - Схема визначення геометричних характеристик форми валика: а - досліджувані геометричні параметри валика; б - вимірювання геометричних параметрів наплавленого валика, отриманого при ІПЕД

Для визначення геометричних параметрів наплавлених валиків при постійній і ІПЕД виготовляли макрошліфи. З наплавлених зразків вирізали темплети, встановлювали їх в бакеліти, а потім піддавали шліфуванню й електролітичному травленню в 10%-му розчині щавлевої кислоти. Висоту посилення, ширину, глибину проплавлення, кут сполучення визначали за допомогою програмного забезпечення CorelDRAW 2010 року (рис. 2.5).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Дослідження впливу ІПЕД на геометричні параметри валика наплавленого металу виконувалися за обраними змінним значенням факторів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Змінні значення процесу наплавлення з ІПЕД

Змінні значення процесу	f , Гц	S
-1	10	1,25
0	35	3
1	60	5

Дані комбінації частоти і шпаруватості ІПЕД були вивчені в точках А, В, С, D, Е (табл. 2.2). При цьому основний метал - пластина розміром 150×50×12 мм з St37-3 (аналог Ст3). Для наплавлення використовувалася суцільний електродний дріт ER 70S-6 (аналог Св-08Г2С) $\varnothing 1,2$ мм.

Таблиця 2.2 - Значення сили струму і напруги дуги, в досліджуваних при ІПЕД точках

Точка (рис. 6.2)	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
I, А	120	310	220	220	220
U, В	26	26	20	33	26

Досліджувані точки А, В, С, D, Е розташовувалися в попередньо встановленої області задовільного формування наплавленого металу при постійній подачі електродного дроту (рис. 2.6). Рівень втрат електродного металу в даній зоні не перевищував 7,5%.

Досліджувані точки обрані з наступних міркувань.

Точка Е - знаходиться в зоні середніх струмів $I_{зв} \approx 220$ А ($V_{имп} \approx 270$ м/год) і середньої напруги $U_d \approx 26$ В. За якістю формування металу наплавленого валика, стабільності процесу і величиною втрат електродного металу дане співвідношення сили струму і напруги дуги при використанні вище зазначеного зварювального устаткування і матеріалів дає найкращий результат.

Точка А - обмежує зону низьких струмів $I_{зв} \approx 120$ А (швидкість подачі дроту $V_{имп} \approx 130$ м/год) і середньої напруги $U_d \approx 26$ В. Подальше зниження

струму призводить до погіршення формування поверхні валика внаслідок порушення стабільності процесу наплавлення через часті обриви дуги.

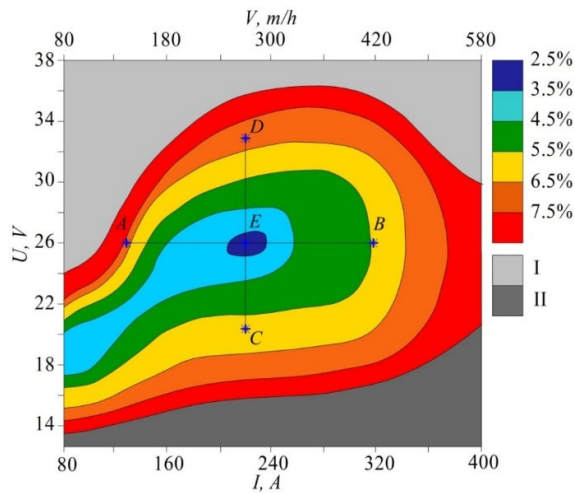


Рис. 2.6 - Досліджувані точки А, В, С, D, Е та їх розташування на графіку зміни втрат електродного металу при постійній подачі електродного дроту (I - зона нестійкого процесу через часті обриви дуги, II - зона торкання нерозплавленого електродного дроту і основного металу)

Точка В - обмежує зону високих струмів $I_{зв} \approx 310$ А ($V_{імп} \approx 410$ м/год) і середніх напруг $U_d \approx 26$ В. Процес наплавлення характеризується задовільною стабільністю. При подальшому підвищенні сили струму, а отже і середньої швидкості подачі дроту, зростає кількість коротких замикань, збільшується глибина проплавлення.

Точка С - обмежує зону середніх струмів $I_{зв} \approx 220$ А ($V_{імп} \approx 270$ м/год) і низьких напруг $U_d \approx 20$ В. Подальше зниження напруги призводить до зниження довжини дуги до критичної позначки, після якого порушується стабільність процесу і формування валика стає незадовільним. Часті торкання нерозплавленого кінця електродного дроту зварювальної ванни призводять до вибухів в зоні контакту і викидів розплавленого металу за межі зварювальної ванни, від чого не тільки збільшуються втрати електродного металу, а й погіршується зовнішній вигляд валика; кут сполучення при цьому досягає значень в $50...70^\circ$.

Точка D - обмежує зону середніх струмів $I_{зв} \approx 220$ А ($V_{имп} \approx 270$ м/год) і підвищеної напруги $U_d \approx 33$ В. При підвищеній напрузі в порівнянні з точкою E за даними попередніх експериментів спостерігалось збільшення розмірів краплі електродного металу приблизно в 3,5 рази; в 1,5...2 рази зростала тривалість короткого замикання; ширина наплавленого валика збільшувалася в 1,4 рази; спостерігалися часті вибухи і викид великих крапель електродного металу із зони зварювання, що призводило до збільшення втрат до 10% і формуванню грубої крупнолускатої поверхні наплавленого валика.

Дослідження геометричних параметрів проводилися в точках A, B, C, D, E при постійній і ППЕД, що дало можливість провести їх порівняння (табл. 2.3-2.7).

Дослідження впливу параметрів ППЕД були проведені спочатку для точки E, так як вибрані параметри наплавлення для використовуваних матеріалів показали найкращий результат з точки зору стабільності процесу, якості формування наплавленого валика, а також мінімальні втрати електродного металу.

Таблиця 2.3 - Матриця плану експериментів і отримані значення параметрів валика для точки E ($I_{зв} \approx 220$ А, $V_{имп} \approx 270$ м/год, $U_d \approx 26$ В)

№	f , Гц	S	h , мм	w , мм	p , мм	α , град.
1	1	1	2,6	12,1	2,7	25
2	10	5	3,2	11,8	1,3	34
3	35	5	2,9	12,2	2,3	28
4	60	5	2,5	12,2	2,4	24
5	10	3	2,9	11,8	1,9	47
6	35	3	2,7	12,0	2,1	38
7	60	3	2,5	12,1	2,3	31
8	10	1,25	2,7	11,9	2,1	34
9	35	1,25	2,6	12,0	2,1	34
10	60	1,25	2,6	12,1	2,3	32

Таблиця 2.4 - Матриця плану експериментів і отримані значення параметрів валика для точки А ($I_{зв} \approx 120$ А, $V_{имп} \approx 130$ м/год, $U_d \approx 26$ В)

№	$f, \text{Гц}$	S	$h, \text{мм}$	$w, \text{мм}$	$p, \text{мм}$	$\alpha, \text{град.}$
1	1	1	1,7	4,9	0,7	48
2	10	5	1,8	4,9	0,4	46
3	35	5	1,7	4,6	0,4	47
4	60	5	1,6	4,0	0,5	53
5	10	3	1,8	4,6	0,4	48
6	35	3	1,7	4,4	0,5	47
7	60	3	1,7	4,1	0,6	60
8	10	1,25	1,8	4,4	0,5	51
9	35	1,25	1,7	3,8	0,5	60
10	60	1,25	1,7	3,5	0,6	54

Таблиця 2.5 - Матриця плану експериментів і отримані значення параметрів валика для точки В ($I_{зв} \approx 310$ А, $V_{имп} \approx 410$ м/год, $U_d \approx 26$ В)

№	$f, \text{Гц}$	S	$h, \text{мм}$	$w, \text{мм}$	$p, \text{мм}$	$\alpha, \text{град.}$
1	1	1	3,0	11,7	3,2	38
2	10	5	3,1	8,5	2,5	50
3	35	5	2,1	9,6	2,8	39
4	60	5	1,8	9,7	1,7	34
5	10	3	3,6	9,5	2,3	50
6	35	3	2,7	10,8	2,7	41
7	60	3	3,0	11,0	4,0	37
8	10	1,25	3,0	10,6	3,4	35
9	35	1,25	3,0	10,7	3,9	43
10	60	1,25	3,0	11,4	3,4	35

Таблиця 2.6 - Матриця плану експериментів і отримані значення параметрів валика для точки С ($I_{зв} \approx 220$ А, $V_{имп} \approx 270$ м/год, $U_d \approx 20$ В)

№	$f, \text{Гц}$	S	$h, \text{мм}$	$w, \text{мм}$	$p, \text{мм}$	$\alpha, \text{град.}$
1	1	1	2,1	7,4	2,2	45
2	10	5	2,5	5,8	0,7	50
3	35	5	2,0	6,5	1,3	45
4	60	5	2,0	7,6	1,7	48
5	10	3	2,1	7,1	1,5	37
6	35	3	2,0	7,2	1,5	41
7	60	3	2,0	7,6	1,8	37
8	10	1,25	2,0	7,1	2,0	40
9	35	1,25	2,0	7,6	2,2	43
10	60	1,25	1,9	7,8	2,3	41

Таблиця 2.7 - Матриця плану експериментів і отримані значення параметрів валика для точки D ($I_{зв} \approx 220$ А, $V_{імп} \approx 270$ м/год, $U_d \approx 33$ В)

№	f , Гц	S	h , мм	w , мм	p , мм	α , град.
1	1	1	1,2	9,9	1,7	23
2	10	5	2,0	10,5	1,6	26
3	35	5	1,5	10,2	1,7	10
4	60	5	1,1	9,8	1,7	19
5	10	3	1,9	11,4	1,7	22
6	35	3	1,5	9,6	1,8	27
7	60	3	1,4	11,0	1,7	20
8	10	1,25	1,5	10,8	1,7	29
9	35	1,25	1,4	11,8	1,7	11
10	60	1,25	1,4	11,6	1,7	20

За отриманими на підставі експериментальних даних побудовані відповідні контурні графіки (рис. 2.7-2.11).

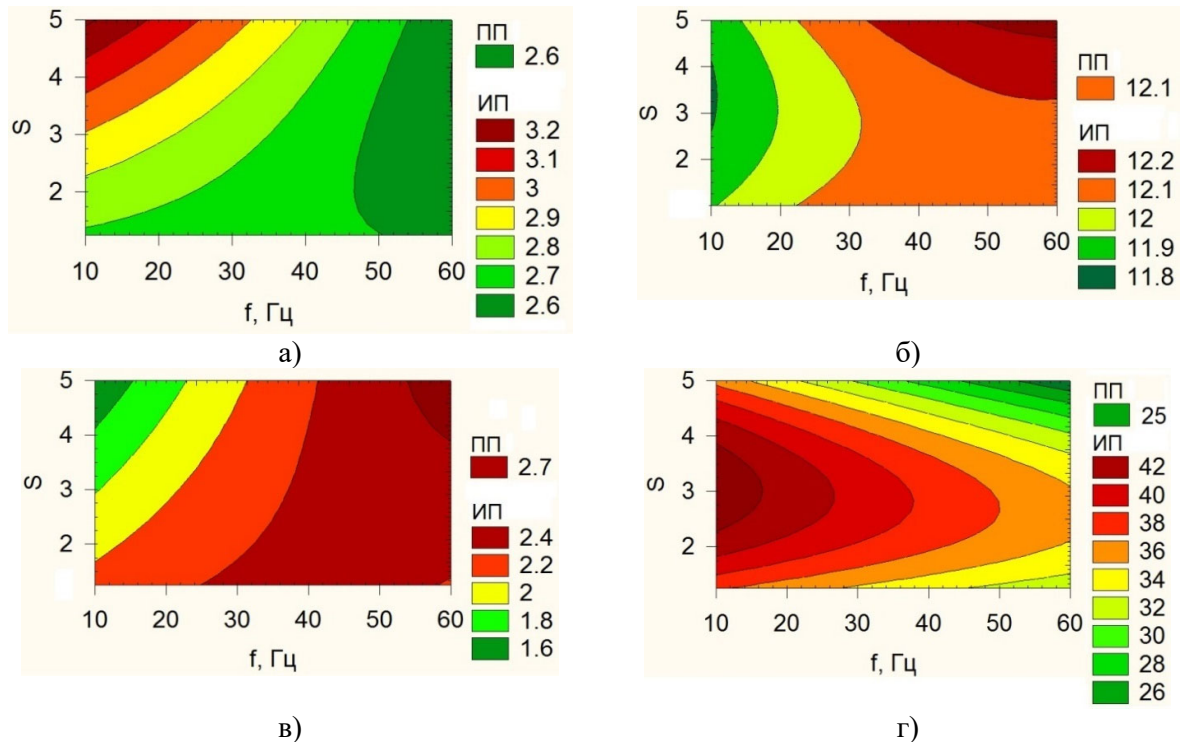


Рис. 2.7 - Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ІПЕД в точці Е: а - опуклості; б - ширини валика; в - глибини проплавлення; г - кута сполучення

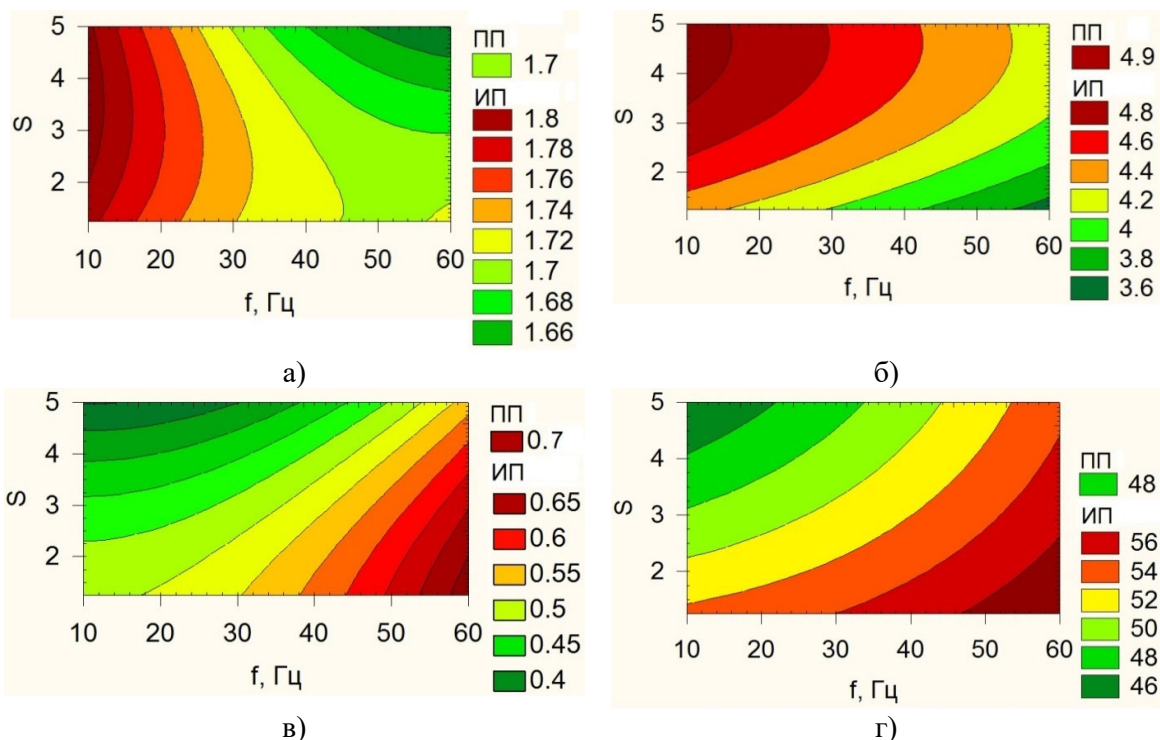


Рис. 2.8 - Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ІПЕД в точці

А: а - опуклості; б - ширини валика; в - глибини проплавлення; г - кута сполучення

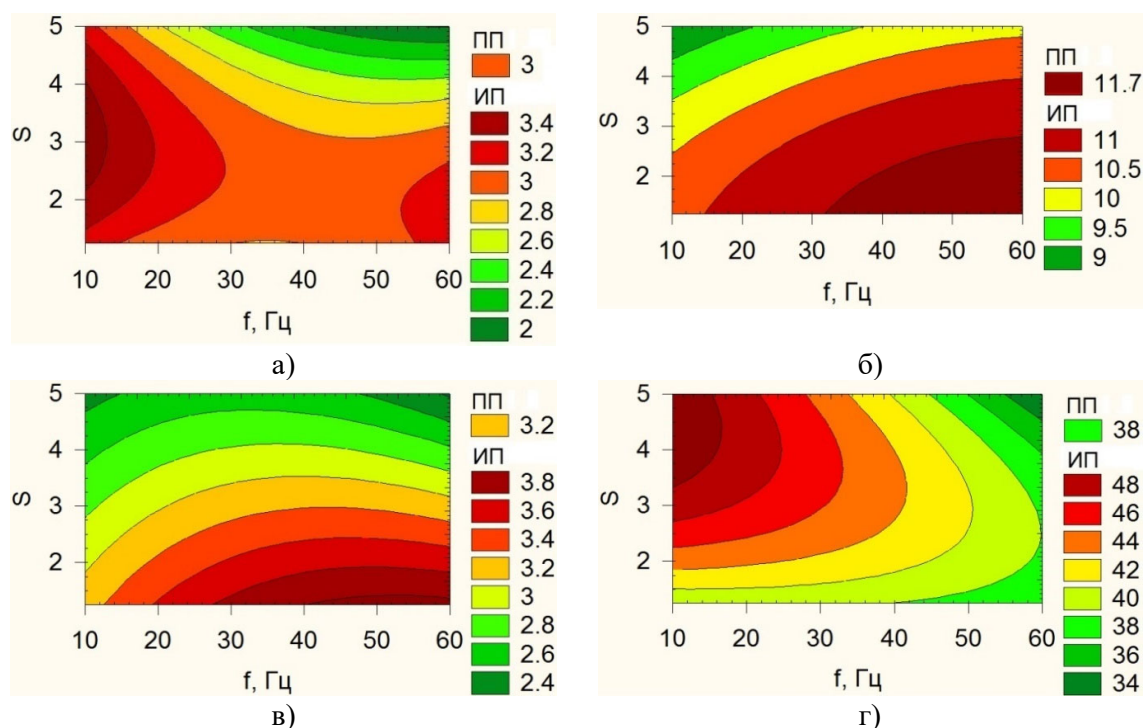


Рис. 2.9 - Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ІПЕД в точці

В: а - опуклості; б - ширини валика; в - глибини проплавлення; г - кута сполучення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

33

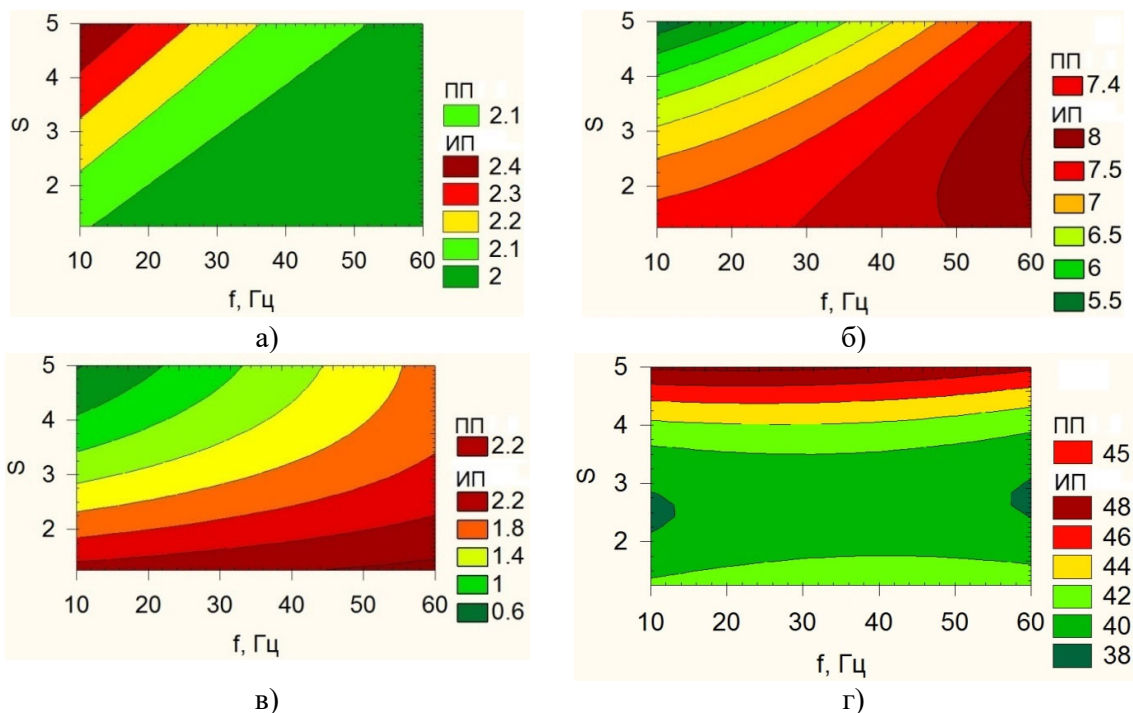


Рис. 2.10 - Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ППЕД в точці С: а - опуклості; б - ширини валика; в - глибини проплавлення; г - кута сполучення

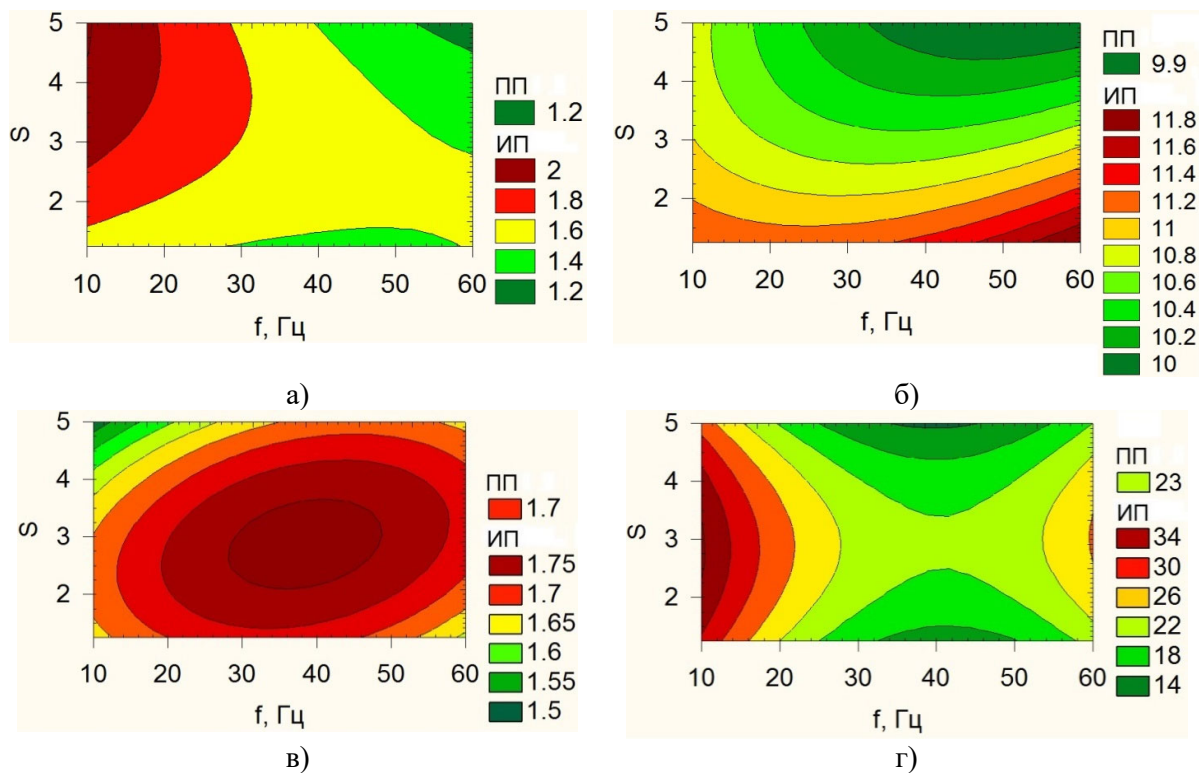


Рис. 2.11 - Контурний графік зміни від частоти і шпаруватості ППЕД в точці D: а - опуклості; б - ширини валика; в - глибини проплавлення; г - кута сполучення

Проведені дослідження і отримані результати показують, що за допомогою параметрів ШПД (частота, прогальність) з'являється можливість без зміни енергетичних параметрів і продуктивності процесу наплавлення здійснювати управління формою поперечного перерізу валика.

2.4 Дослідження впливу імпульсної подачі електродного дроту на втрати електродного металу

Одним із завдань управління процесом перенесення електродного металу є підвищення стабільності процесу наплавлення в CO_2 та зниження рівня втрат електродного металу на розбризкування. Порівняльний аналіз коефіцієнтів відповідних втрат є одним з критеріїв оцінки доцільності застосування ШПД для процесу наплавлення в CO_2 .

Визначення величини втрат електродного металу при постійній і ШПД (табл. 2.8), проводилося в досліджуваних точках А, В, С, D, Е за методикою згідно ГОСТ 25616-83. Маса розплавленого і наплавленого електродного металу визначалася шляхом зважування відповідно касети з електродним дротом і пластини до і після процесу наплавлення. Зважування виконувалося на лабораторних вагах MettlerToledo XS2004SX ExComparator, точність зважування 0,05 г (похибка $\pm 2\%$ при 25°C).

При постійній подачі електродного дроту, мінімальні втрати електродного металу були отримані в окрестності точки Е (рис. 3.2). Точка А при $I_{\text{зв}} \approx 120 \text{ А}$, $U_{\text{д}} \approx 26 \text{ В}$ характеризується величиною втрат електродного металу 6,5...7,5%, а подальше зниження сили струму або збільшення напруги дуги призводить до дестабілізації процесу наплавлення і збільшення втрат електродного металу до 10%.

При наплавленні на режимах точки В, спостерігається збільшення втрат електродного металу в 1,5...2 рази в порівнянні з точкою Е. Швидкісна відеозйомка дугового проміжку показує, що розбризкування відбувається в основному за рахунок вибуху рідкої перемички в момент переходу краплі з

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

35

Таблиця 2.8 - Втрати електродного металу в точках А, В, С, D, Е при постійній і імпульсній подачі електродного дроту

№	Точки	f	S	Ψ	№	Точки	f	S	Ψ
1	A	1	1	6,8	26	C _m	35	3	2,8
2	A _i	10	5	4,6	27	C _n	60	3	4,3
3	A _j	35	5	2,8	28	C _o	10	1,25	4,6
4	A _k	60	5	5,0	29	C _s	35	1,25	3,0
5	A _l	10	3	3,5	30	C _r	60	1,25	4,2
6	A _m	35	3	3,1	31	D	1	1	6,9
7	A _n	60	3	3,9	32	D _i	10	5	3,8
8	A _o	10	1,25	4,5	33	D _j	35	5	4,7
9	A _s	35	1,25	4,5	34	D _k	60	5	5,2
10	A _r	60	1,25	5,4	35	D _l	10	3	4,4
11	B	1	1	5,8	36	D _m	35	3	5,3
12	B _i	10	5	3,4	37	D _n	60	3	5,8
13	B _j	35	5	4,1	38	D _o	10	1,25	5,7
14	B _k	60	5	6,2	39	D _s	35	1,25	5,8
15	B _l	10	3	2,7	40	D _r	60	1,25	6,6
16	B _m	35	3	2,3	41	E	1	1	3,1
17	B _n	60	3	4,7	42	E _i	10	5	2,9
18	B _o	10	1,25	5,2	43	E _j	35	5	1,8
19	B _s	35	1,25	5,5	44	E _k	60	5	3,2
20	B _r	60	1,25	5,7	45	E _l	10	3	3,7
21	C	1	1	6,3	46	E _m	35	3	2,0
22	C _i	10	5	3,5	47	E _n	60	3	3,5
23	C _j	35	5	4,6	48	E _o	10	1,25	4,9
24	C _k	60	5	3,1	49	E _s	35	1,25	3,6
25	C _l	10	3	4,0	50	E _r	60	1,25	4,1

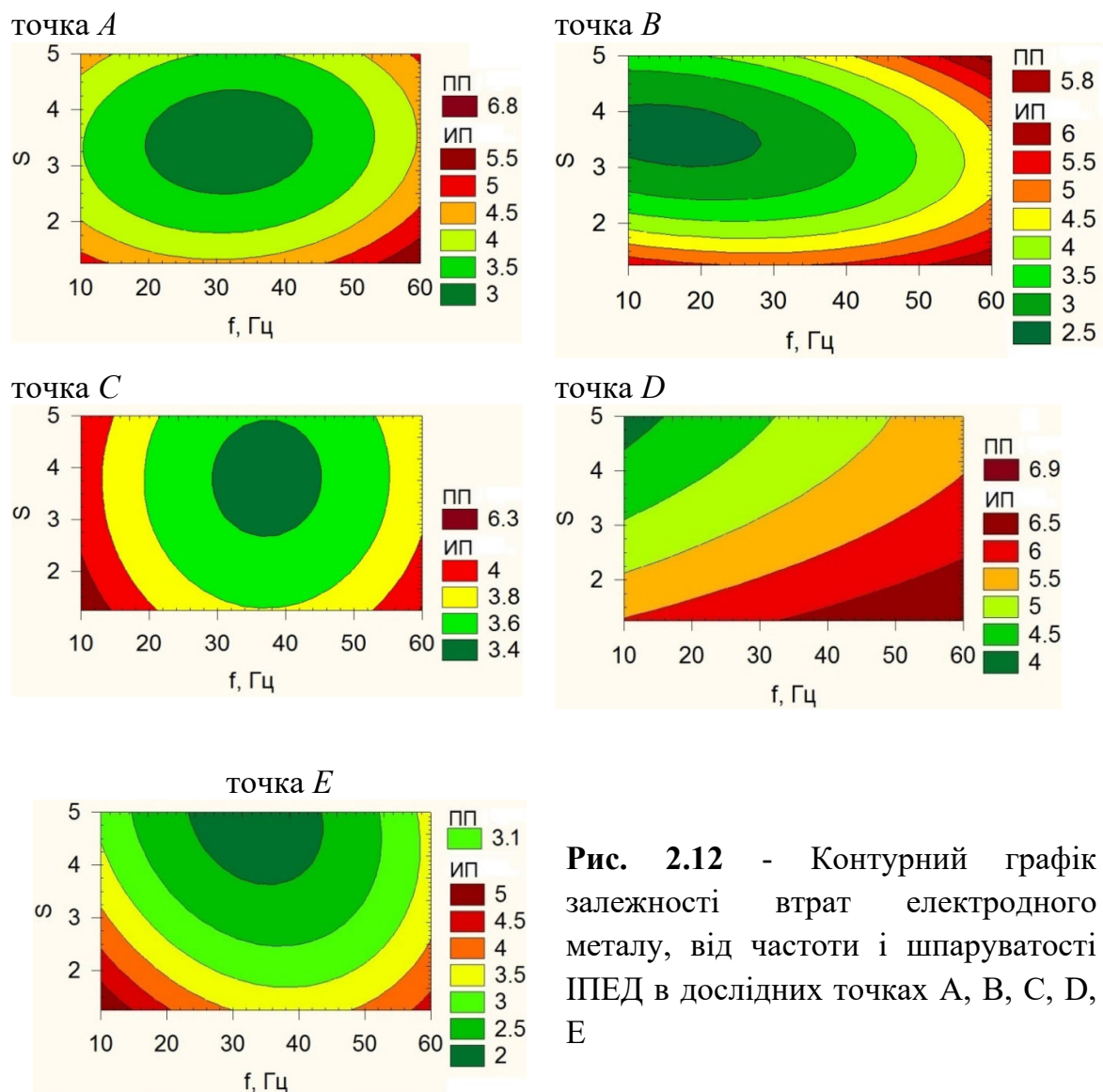
Тут і в наступних випадках, індексами i, j, k, l, m, n, o, s, r позначені варіанти процесу з постійною подачею електродного дроту

торця електрода в ванну рідкого металу.

Величина втрат електродного металу в точці С становить 5,5...6,5%, а подальше зниження напруги призводить до зниження стабільності процесу і збільшення втрат електродного металу до 10%. Відеокадри дугового проміжку показують, що при даному режимі спостерігається істотне зменшення довжини дуги і недостатня швидкість плавлення електродного дроту через низьку енергетичної потужності процесу. З осцилограм процесу видно, що збільшується струм короткого замикання, що також призводить до різкого перегріву ділянки дроту, прилеглого до поверхні основного металу і викиду перегрітого рідкого металу з цієї зони.

Точка D - обмежує зону середніх струмів $I_{зв} \approx 220$ А ($V_{имп} \approx 270$ м/год) і підвищених напруги $U_d \approx 33$ В. При підвищеній напрузі, в порівнянні з точкою E, спостерігається збільшення розмірів краплі електродного металу приблизно в 3,5 рази, в 1,5...2 рази зростає тривалість короткого замикання, спостерігається часті вибухи і викид великих крапель електродного металу із зони зварювання, в результаті це призводить до збільшення втрат до 10%.

За отриманими на підставі експериментальних даних побудовані відповідні контурні графіки (рис. 2.12).



Таким чином, параметри ППЕД дозволяють в досить широкому діапазоні впливати не тільки на геометрію валика наплавленого металу, але і також - на втрати електродного металу, підвищуючи стабільність процесу дугового зварювання в CO_2 .

2.5 Висновки

Застосування імпульсної подачі електродного дроту дає можливість керувати величиною струму дуги на стадії зростання краплі, що дозволяє суттєво знизити глибину проплавлення при наплавленні, ступінь розбризкування, покращити механічні властивості.

Проведений аналіз системи сил, що діють на краплю електродного металу при постійній подачі електродного дроту, показав, що найбільш перспективним для зовнішнього технологічного впливу на перенесення електродного металу в розглянутому циклі є його третя ділянка (рис. 2.2).

Проведені дослідження і отримані результати показують, що за допомогою параметрів ППЕД (частота, шпаруватість) з'являється можливість без зміни енергетичних параметрів і продуктивності процесу зварювання здійснювати управління формою поперечного перерізу валика (рис. 2.7-2.11).

Встановлено, що параметри ППЕД дозволяють в досить широкому діапазоні впливати не тільки на геометрію валика наплавленого металу, але і також - на втрати електродного металу, підвищуючи стабільність процесу дугового наплавлення, що вельми актуально для оптимізації технологічного процесу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 02. ПЗ.

Арк.

38

3 Розрахунки технології підвищення зносостійкості

3.1 Розрахунок хімічного складу наплавленого металу

Склад металу наплавленого шару формується за рахунок розплавлення присадного і основного матеріалу, що знижує корозійну стійкість наплавленого металу. В цілому склад шару металу, виконаного за один прохід, можна виразити у вигляді долі участі хімічних елементів в основному або електродному металі.

$$X_{\text{мшл}} = \Psi_1 \{ [X_{\text{ом}}] \pm \Delta X_{\text{ом}} \} + (1 - \Psi_1) \{ [X_{\text{ел.пр}}] \pm \Delta X_{\text{ел.пр}} \} \quad (3.1)$$

де Ψ_1 ; $(1 - \Psi_1)$ – доля основного і електродного металу;

$X_{\text{мшл}}$; $X_{\text{ом}}$; $X_{\text{ел.пр}}$ – концентрація елемента одношарового наплавлення ($X_{\text{мшл}}$) в основному металі ($X_{\text{ом}}$) та електродній проволці ($X_{\text{ел.пр}}$), %;

$\Delta X_{\text{ом}}$; $\Delta X_{\text{ел.пр}}$ – зміни в складах основного та електродного металів, що відбувається при зварюванні, %.

У зв'язку з тим, що зміни які відбуваються в основному і наплавленому металах визначити неможливо, формулу можна спростити:

$$X_{\text{мшл}} = \Psi_1 [X_{\text{ом}}] + (1 - \Psi_1) \{ [X_{\text{ел.пр}}] \pm \Delta X \} \quad (3.2)$$

де $\pm \Delta X$ – узагальнена зміна складу як основного так і електродного металу в процесі наплавлення.

Формування складу металу шва можна представити у вигляді змішування наплавленого металу та зміненого основного металу. За виключенням газів (кисню, водню) для основного металу при наплавленні можливі тільки втрати елементів, оцінити які можна коефіцієнтом засвоєння. Формула матиме наступний вигляд:

$$X_{\text{мшл}} = \Psi_1 [X_{\text{ом}}] K_y + (1 - \Psi_1) [X_{\text{нм}}] \quad (3.3)$$

де K_y – коефіцієнта переходу основного металу у наплавлений для аргоно-

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дугового способу $K_y = 0,15$, для плазмового $K_y = 0,02$;

$X_{\text{нм}}$ – концентрація елемента X в наплавленому металі, отримана в результаті взаємодії електродного стрижня і зміненого складу основного металу, %.

Для багатьох елементів, що володіють невеликою хімічною активністю, коефіцієнт засвоєння K_y може прийматися як одиниця. Тоді формула спроститься до такого вигляду:

$$X_{\text{мш1}} = \Psi_1 X_{\text{ом}} + (1 - \Psi_1) X_{\text{нм}} \quad (3.4)$$

При розрахунку складу багатошарового наплавлення необхідно враховувати формування складу останніх шарів. В якості основного металу при розрахунках необхідно брати метал попереднього шару.

$$X_{\text{мш2}} = \Psi_2 X_{\text{ом}} + (1 - \Psi_2) X_{\text{нм}} \quad (3.5)$$

де Ψ_2 – доля участі першого шару в створенні другого шару.

Загальна формула для розрахунку багатошарового наплавлення матиме вигляд:

$$X_{\text{мшп}} = \Psi^n X_{\text{ом}} + (1 - \Psi^n) X_{\text{нм}} \quad (3.6)$$

де n – номер наплавленого шару;

Ψ ; $(1 - \Psi)$ – доля основного і електродного металу;

$X_{\text{ом}}$ – концентрація елемента X в основному металі, %;

$X_{\text{нм}}$ – концентрація елемента X в наплавленому металі, %.

Наплавлений метал повинен бути близький по хімічному складу до металу, що наплавляється, тому метою проведення розрахунку є визначення необхідної кількості шарів наплавленого металу на фланець зі сталі ВСтЗсп. В якості способу наплавлення обране ручне аргонодугове наплавлення з коефіцієнтом переходу основного металу в наплавлений $\Psi = 0,15$ [7], а також плазмове наплавлення з коефіцієнтом переходу $\Psi = 0,02$ [7].

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Хімічний склад основного і наплавленого металів, (%)

Елементи	Ni	Fe	C	Si	Mn	Ti	Cu	Zn
Наплавлюваний метал МНЖКТ 5-1-0,2-0,2	5-6,5	1-1,4	до 0,03	0,15-0,3	0,3-0,8	0,1-0,3	90-93,45	до 0,5
Основний метал ВСтЗсп	0,3	98,2-98,7	0,14-0,22	0,15-0,3	0,4-0,65	-	0,3	-

Визначимо концентрацію X елементів для 1 шару по формулі 2.6, для ручного аргано-дугового наплавлення:

$$Ni_1 = 0,15^1 \cdot 0,3 + (1 - 0,15^1) \cdot 5,5 = 4,7\%$$

$$Fe_1 = 0,15^1 \cdot 98,5 + (1 - 0,15^1) \cdot 1,2 = 15,8\%$$

$$C_1 = 0,15^1 \cdot 0,18 + (1 - 0,15^1) \cdot 0,03 = 0,05\%$$

$$Si_1 = 0,15^1 \cdot 0,2 + (1 - 0,15^1) \cdot 0,2 = 0,2\%$$

$$Mn_1 = 0,15^1 \cdot 0,5 + (1 - 0,15^1) \cdot 0,5 = 0,5\%$$

$$Ti_1 = 0,15^1 \cdot 0 + (1 - 0,15^1) \cdot 0,2 = 0,17\%$$

$$Cu_1 = 0,15^1 \cdot 0,3 + (1 - 0,15^1) \cdot 91,7 = 77,9\%$$

$$Zn_1 = 0,15^1 \cdot 0 + (1 - 0,15^1) \cdot 0,5 = 0,42\%$$

Визначимо концентрацію X елементів для 1 шару по формулі 2.6, для плазмового наплавлення:

$$Ni_1 = 0,02^1 \cdot 0,3 + (1 - 0,02^1) \cdot 5,5 = 5,4\%$$

$$Fe_1 = 0,02^1 \cdot 98,5 + (1 - 0,02^1) \cdot 1,2 = 3,1\%$$

$$C_1 = 0,02^1 \cdot 0,18 + (1 - 0,02^1) \cdot 0,03 = 0,033\%$$

$$Si_1 = 0,02^1 \cdot 0,2 + (1 - 0,02^1) \cdot 0,2 = 0,2\%$$

$$Mn_1 = 0,02^1 \cdot 0,5 + (1 - 0,02^1) \cdot 0,5 = 0,5\%$$

$$Ti_1 = 0,02^1 \cdot 0 + (1 - 0,02^1) \cdot 0,2 = 0,196\%$$

$$Cu_1 = 0,02^1 \cdot 0,3 + (1 - 0,02^1) \cdot 91,7 = 89,9\%$$

$$Zn_1 = 0,02^1 \cdot 0 + (1 - 0,02^1) \cdot 0,5 = 0,49\%$$

Визначення концентрації X елементів для наступних шарів проводимо за аналогічними формулами, використовуючи в якості основного металу концентрацію елементів з попередньо розрахованого шару.

Розрахунок необхідної кількості шарів наплавлення наведений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Хімічний склад наплавлених шарів

№ напвл-леного шару	Коефіцієнт переходу Ψ	Відсоток елементу в металі							
		Ni	Fe	C	Si	Mn	Ti	Cu	Zn
1	0,15	4,7	15,8	0,05	0,2	0,5	0,17	77,9	0,42
2		5,4	3,4	0,033	0,2	0,5	0,196	89,6	0,49
3		5,5	1,53	0,03	0,2	0,5	0,199	91,4	0,5
4		5,5	1,2	0,03	0,2	0,5	0,2	91,7	0,5
1	0,02	5,4	3,1	0,033	0,2	0,5	0,196	89,9	0,49
2		5,5	1,2	0,03	0,2	0,5	0,2	91,7	0,5

З проведених розрахунків можна зробити висновок що найбільш продуктивним з точки зору складу наплавленого шару є плазмове наплавлення, так як вже у другому шарі ми отримуємо наплавлений метал близький за своїм хімічним складом до металу електродного дроту [4].

3.2 Розрахунок параметрів режиму наплавлення

Якщо правильно обрані параметри режиму наплавлення, це дозволить забезпечити високу якість зварного з'єднання. До параметрів режиму зварювання відносяться:

- $I_{зв}$ - величина зварювального струму на дузі, А;
- $U_{зв}$ - напруга на дузі, В;

- $d_{\text{ел}}$ - діаметр електродного дроту, мм.

Параметри $I_{\text{зв}}$ $U_{\text{зв}}$ $V_{\text{зв}}$ визначають термічний цикл основного металу і зони термічного впливу, тобто визначають структуру і властивості цих зон.

Всі ці параметри пов'язані між собою і будь — яке відхилення одного з них, може призвести до появи у зварному з'єднанні наступних дефектів: непроварів, шлакових включень, гартівних структур, гарячих і холодних тріщин та ін [4].

Параметри режиму зварювання обирають в залежності від геометричних розмірів і роду матеріалу зварювального виробу. Режим зварювання розраховують для отримання якісного зварного шва з урахуванням товщини стінки труби.

При визначенні режиму зварювання необхідно вибрати також параметри, які забезпечать отримання швів заданих розмірів, форми та якості.

Розрахунок параметрів режиму наплавлення має наступну послідовність:

1. вибір діаметра електроду - $d_{\text{ел}}$, мм;
2. розрахунок зварювального струму - $I_{\text{зв}}$, А;
3. розрахунок напруги на дузі - $U_{\text{д}}$, В.

Розраховуємо режими зварювання труб з фланцями для ручного аргонно дугового зварювання.

Визначаємо силу зварювального струму:

$$I_{\text{зв}} = \frac{\pi d_{\text{ел}}^2}{4} \cdot j; \text{ А} \quad (3.7)$$

де $d_{\text{ел}}$ – діаметр електроду, $d_{\text{ел}} = 3\text{мм}$;

j – щільність струму, залежить від діаметра електроду, $j = 20 \text{ А/мм}^2$ [5, 7, 9].

$$I_{\text{зв}} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 20 = 140 \text{ А}$$

Розрахунок напруги на дузі:

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_d = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-3} I_{зв}}{\sqrt{d_{ел}}} \pm 1; \text{ В} \quad (3.8)$$

де - $I_{зв}$ – сила зварювального струму, $I_{зв} = 140 \text{ А}$;

$d_{ел}$ – діаметр електроду, $d_{ел} = 3 \text{ мм}$.

$$U_d = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 140}{\sqrt{3}} \pm 1 = 20,4 \text{ В}$$

3.3 Розрахунок термічного циклу при наплавленні

Концентровані джерела енергії, які застосовуються при наплавленні, призводять до локалізації теплоти в місці з'єднання з подальшим її поширенням у виробі, що приведе до різноманітних структурних і деформаційних процесів. Від цього, в остаточному підсумку, буде залежати працездатність і якість наплавленого шару.

Регулюючи потужність джерела, початкову температуру виробу можна в широких межах змінювати властивості зварних з'єднань. Вплив цих параметрів на зварювальні процеси дозволяє оцінити теорія теплових процесів при зварюванні.

Розподіл і зміна температури при зварюванні виробів обчислюються по формулах, отриманим у результаті рішення диференціального рівняння теплопровідності при визначених початкових і крайових умовах [20]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.9)$$

Рішення цього рівняння при дії зварювального джерела, що безупинно рухається в напрямку осі x з постійною швидкістю V , буде більш простим у системі координат, що рухається, де початок координат збігається з джерелом. Так, при зварюванні масивних виробів зміна температури в часі в якій-небудь точці тіла можна розрахувати по формулі:

$$T(x,y,z,t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma(4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{V_x}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right), \quad (3.10)$$

де: q – ефективна теплова потужність джерела, для дугового зварювання розраховується за формулою (3.11), Дж/с

$$q = I_{\text{зв}} U_{\text{д}} \eta, \quad (3.11)$$

де η – ефективна ККД нагрівання;

V – швидкість переміщення джерела, см/с;

α – коефіцієнт температуропровідності;

$t_2 = t - t_1$ – час поширення теплоти елементарного джерела, введеного в якій-небудь точці O , потужність якого $q = dt_1$ (t_1 час досягнення джерелом точки O з моменту початку руху, t – час досягнення температури T у точці з координатами x, y, z , з початку руху джерела);

R – відстань від джерела до розглянутої точки,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \quad (3.12)$$

При збільшенні швидкості переміщення зварювального джерела градієнт температури тіла в напрямку зварювання увесь час зменшується. Про це можна судити по витягнутості ізотерми температурного поля в напрямку осі x . При великих швидкостях зварювання можна зневажити поширенням теплоти уздовж напрямку руху джерела, розрахункові формули зміни температури в точках тіла при цьому значно спрощуються [20].

Так, при наплавленні на масивний виріб розрахунки температури в часі в якій небудь точці тіла виконується за формулою:

$$T(r_0,t) = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot t} \cdot \exp\left(-\frac{r_0^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) + T_0, \quad (3.13)$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см · К;

t – час, відлічуваний з того моменту, коли джерело перетинає площину, у якій знаходиться розглянута точка, що має координати y_0, z_0 ;

$r_0 = \sqrt{y_0^2 + z_0^2}$ – відстань у розглянутій площині від вибраної точки до осі переміщення джерела;

T_0 – початкова температура виробу;

V_H – швидкість наплавлення, м/год.

Зміна максимальних температур у напрямку перпендикулярній осі переміщення джерела, розраховується по рівнянню для наплавлення на масивний виріб:

$$T_m(r_0) = \frac{0,368 \cdot q}{\frac{\pi}{2} V \cdot c\gamma \cdot r_0^2} \quad (3.14)$$

Вихідні дані для розрахунку виходячі із розрахункових режимів наплавлення:

- коефіцієнт теплопровідності, Дж/см К	0,4
- температура нагрівання, °С	1350
- початкова температура виробу, °С	20
- коефіцієнт температуропровідності, Дж/см ² с град	0,08
величина струму дуги, А	140
- напруга дуги, В	22
- ефективний ККД нагріву	0,75
- ефективна теплова потужність джерела, Дж/с	3300
- швидкість наплавлення, см/с	0,22

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки r_0 , скористаємося рівнянням вважаючи, що $T_m = 1350$ °С.

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368 \cdot q}{\frac{\pi}{2} \cdot c\gamma \cdot V_H \cdot (1350 - T)}} = 0,73 \text{ см} \quad (3.15)$$

Зробимо розрахунок температури в часі для наплавлення у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (3.13) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 3.3.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 3.3 Нагрів та охолодження наплавлення за розрахунковими режимами

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T °C	20	101	1162	880	525	292	206	134	78	51

За отриманими значеннями будуємо криву графік термічного циклу ЗТВ (рис. 3.1), а потім переносимо криву охолодження на діаграму термодинамічного перетворення аустеніту сталі ВСт3сп (рис. 3.2)

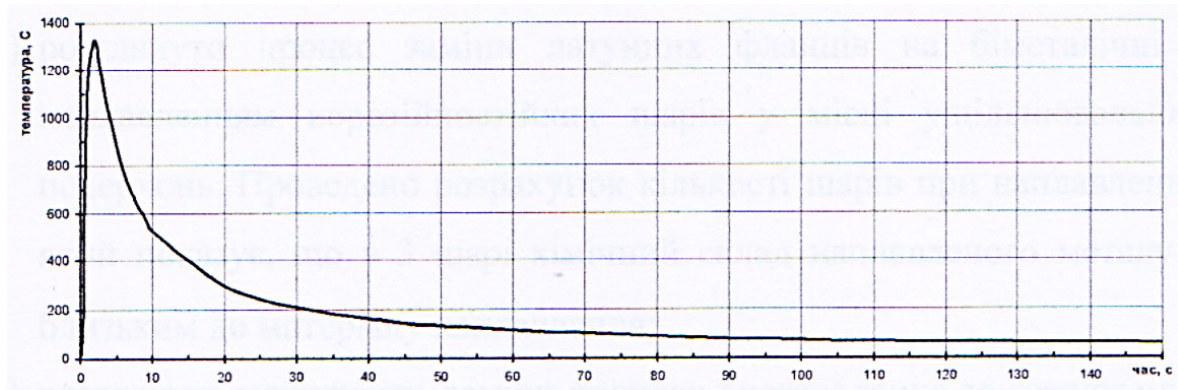


Рис. 3.1 Термічний цикл ЗТВ при наплавленні

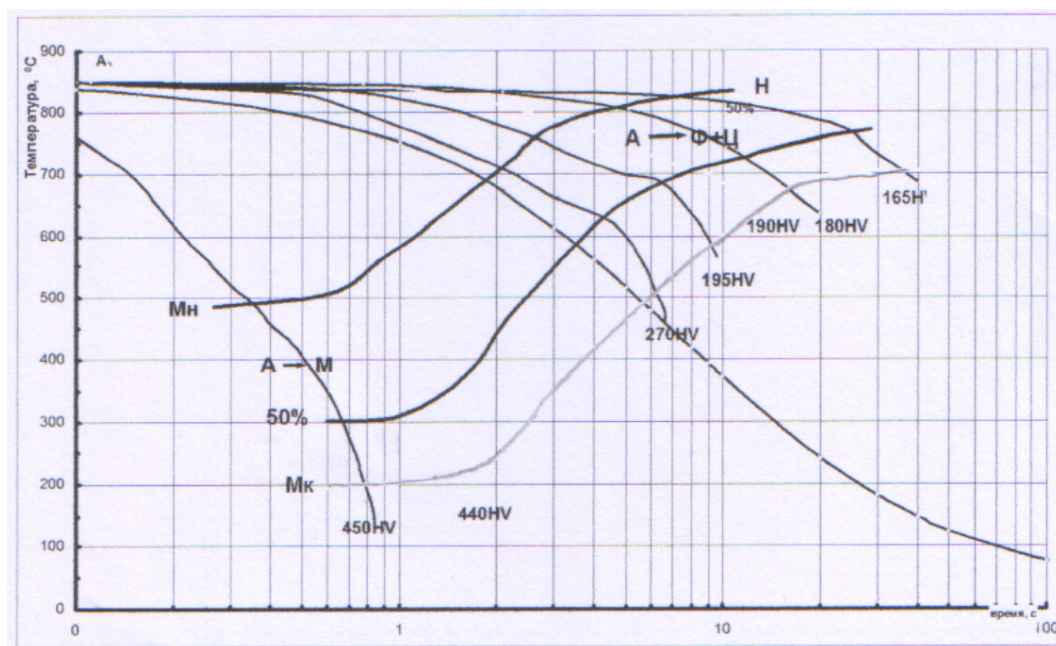


Рис. 3.2 Діаграма термодинамічного перетворення аустеніту сталі ВСт3сп

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.

Арк.

47

Аналізуючи отримані результати по термічному циклу та діаграмі термодіфузійного розпаду аустеніту, бачимо, що при даних режимах, які були розраховані, можливе утворення ферито-перлітної структури з твердістю 290 HV.

3.4 Висновки

- розглянуто процес заміни латунних фланців на біметалічні з наплавленням корозійностійких шарів у місці ущільнюючих поверхонь.
- проведено розрахунок кількості шарів при наплавленні, який показує, що при аргонодуговому наплавленні в 4 шарі склад наплавленого металу є близьким до матеріалу наплавлення, а при плазмовому у 2 шарі;
- розраховані параметри режимів наплавлення;
- розрахований термічний цикл при наплавленні на сталь ВСт3сп, очікувана структура ЗТВ – ферито-перлітна з твердістю 290 HV.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розробка технології виготовлення та наплавлення фланця

4.1 Конструювання біметалічного фланця

При виготовленні трубопроводів заборотної води використовують труби з мідно-нікелевого сплаву МНЖ 5-1, а кільця і фланці з латуні Л90.

Використання коштовних латунних фланців, а також складність процесу їх виготовлення з використанням ливарного та ковальського виробництв призводить до великих матеріальних затрат.

Виготовлення латунних фланців та кілець складається з наступних операцій:

- 1) відливка заготовки в ливарному цеху;
- 2) механічна обробка поверхні виливки з метою видалення прибутків та ливарної кірки у механічному цеху;
- 3) різання ливарної заготовки на частини та виготовлення поковок у ковальському цеху;
- 4) механічна обробка поковки при виготовленні фланців.

Базовий спосіб виготовлення є трудомістким, займає багато часу та витрачає багато кольорового металу на обробку (на виготовлення фланця вагою 12,5 кг витрачається відливка вагою 40 кг).

З метою зниження собівартості фланців і полегшення процесу їх виготовлення була розглянута можливість заміни латунних фланців біметалічними. Основою біметалічних фланців можна обрати звичайну низьковуглецеву сталь ВСтЗсп, а на робочу поверхню наплавляти матеріал, що володіє високою стійкістю проти корозії (наприклад МНЖКТ 5-1-0,2-0,2).

Створення біметалів дозволить зменшити необхідну кількість операцій при виготовленні виробів, а також всі ці операції виконуються в трубо - мідницькому цеху. Наприклад, замість того щоб виливати деталь, видаляти прибутки, проковувати та обробляти її, можна вирізати деталь з менш кошовної сталі, обробити її і провести наплавлення стійким до корозії матеріалом, що замінить

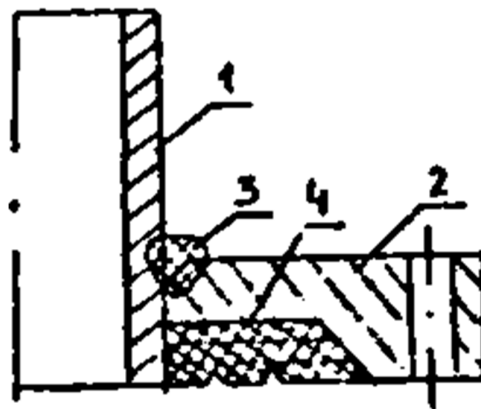
					МР. 132. 6121м. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

цілком латунний фланець. Це може привести до зменшення часу виготовлення деталей та економії коштовного матеріалу.

Виготовлення біметалічних фланців (кілець) складається з таких операцій:

- газова вирізка деталей з листової сталі марки ВСтЗсп на приладі АСШ-2М;
- проточка при виготовленні фланців та отворів;
- наплавлення ущільнювальної поверхні фланця (аргоно-дуговим способом і плазмовим) та проточка (рисунок 4.1).

Виконання цих операцій зі спрощенням організації виробництва виконується в трубомідницькому цеху.



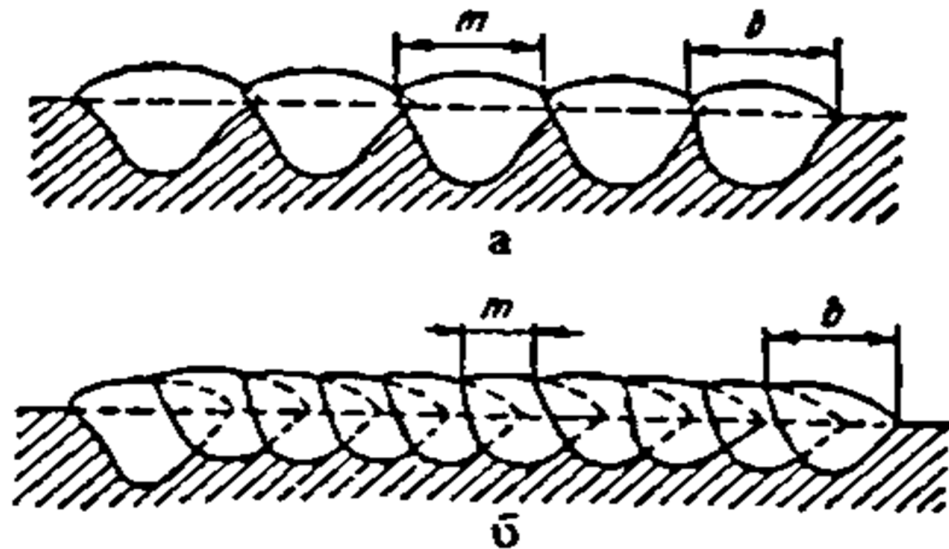
1 – труба зі сплаву МНЖ 5-1; 2 – сталевий фланець; 3 – зварювальний шов фланця з трубою; 4 – наплавлений шар у місці ущільнювальної поверхні

Рис. 4.1 Конструкція біметалічного фланця

При наплавленні ущільнювальних поверхонь фланців слід прагнути до мінімального розплавлення сталі для забезпечення необхідної корозійної стійкості наплавленого металу в морській воді [4].

При ручному аргонодуговому наплавленні першого шару дугу направляють на зварювальний дріт. Наступні шари наплавляють при невеликому нахилі наплавленої поверхні до 15°.

Кожен наступний валик шириною “b”, як при ручному так і при механізованому наплавленні, виконують після повного охолодження фланця від накладення попереднього валика до температури менш 100 °С. Кожний наступний валик повинен перекривати попередній на 1/3 його ширини (рис. 4.2).



а – великий крок; б – малий крок; m – крок наплавлення; b – ширина валика

Рис. 4.2 Схема послідовності наплавлення валиків

При наплавленні фланця аргонодуговим способом можна одночасно проводити його зварювання з трубою. Наплавлений метал повинен перекривати торець труби. При використанні фланців наплавлених плазмовим способом зварювання труби з фланцем виконується ручним аргоно дуговим зварюванням, а також труби з фланцем на ущільнювальній поверхні.

Температура плавлення мідно-нікелевого сплаву МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 складає 1070 °С, а сталь ВСтЗсп плавиться за температури 1585 °С. При наплавленні на ще нерозплавлену сталь буде наплавлятися повністю розплавлена проволока МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, що зменшить перехід основного металу в наплавлений шар.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР. 132. 6121м. 01. 05. 04. ПЗ.

Арк.

51

4.2 Технологічний процес виготовлення та наплавлення біметалічного фланця

Для підвищення зносостійкості з використанням наплавлення при виготовленні біметалічних фланців замість латунних необхідно:

- виготовити сталі фланці;
- виконати наплавлення ущільнювальної поверхні сталі фланців плазмовим способом;
- виконати зварюванням фланця з трубою ручним аргондуговим способом.

Це дуже спрощує виготовлення фланців, так як виготовлення їх відбувається у трубо-мідницькому цеху і не потребує інших операцій по виготовленню.

У трубо-мідницькому цеху при виготовленні біметалічних фланців необхідно виконати наступні операції по першому варіанту:

- 1) вирізання заготовок на автоматі АСШ-2М;
- 2) механічна обробка по зовнішньому розміру і внутрішньому вирізу;
- 3) свердління отворів;
- 4) вирізання ущільнювальної поверхні під наплавлення;
- 5) приварка фланця ручним аргондуговим способом до труби з тильної сторони;
- 6) наплавлення ущільнювальної поверхні багат шаровим способом;
- 7) проточка ущільнювальної поверхні з боку роз'єднання;

По другому варіанту необхідно виконати наступні операції:

- 1) виготовлення заготовки біметалічного фланця аналогічно першому варіанту;
- 2) наплавлення плазмовим способом ущільнювальної поверхні фланця на наплавному агрегаті;

3) приварка біметалічного фланця аргонодуговим способом до труби з двох сторін (зі сторони роз'єму та з тильної);

4) проточка ущільнювальної поверхні біметалічного фланця з боку роз'єму.

Використання першого або другого варіанту залежить від економічної ефективності варіанту. При виготовленні біметалічних виробів у судноремонті необхідно враховувати умови експлуатації наплавлених виробів та вузлів з урахуванням взаємодії корозійного середовища з наплавленим та основним металом. До таких виробів слід віднести судові трубопроводи, які транспортують агресивну морську воду.

У суднобудуванні перелічені трубопроводи виготовляють з корозійностійкого сплаву марки МНЖ 5-1, а кільця та фланці з латуні марки Л90[5]. Використання високо коштовних латунних фланців, а також складного технологічного процесу їх виготовлення з використанням ливарного та ковальського виробництва доводять до великих матеріальних витрат.

З метою зниження собівартості фланців та спрощення процесу їх виготовлення було розглянуто питання заміни латунних фланців біметалічними – стальними з наплавленням ущільнювальних поверхонь корозійностійким сплавом.

Вирізання фланця відбувається на машині АСШ – 2М. Конструкція машини - полярно-координована (шарнірна), заснована на принципі шарнірного зв'язку двох ферм, одна з яких укріплена шарнірно на рухливій колонці, а друга пов'язана шарнірно з першою, несе на собі провідний механізм з електромагнітною голівкою. Копіювальний ролик голівки розташований суворо спів вісью з ріжучим соплом різака. При цьому копір, крайка якого обкатує копіювальний ролик (магнітний палець), зміцнюють болтовими затискачами на консольної балці машини, розташованої над провідним механізмом і електромагнітною голівкою з копіювальним роликом. В

результаті різак в точності (в масштабі 1:1) повторює рух копіювального ролика [5, 21].

Машина призначена для газового різання фасонних, переважно малогабаритних, деталей з листової сталі товщиною 5 - 100 мм виключно по копіру за допомогою електромагнітної голівки. Шарнірні зв'язки машини, що забезпечують майже повну відсутність люфтів і суворо співвісне розташування ріжучого сопла з копіювальним роликом, дозволяють досягати найбільш точного копіювання. Пульт керування машиною зосереджений на щиті, змонтованого на одній фермі з ведучим механізмом.

Модифікацією машини АСШ-2М є трьох різаків конструкція типу АСШ-70, що відрізняється від наведеної машини наявністю пантографної приставки з трьохрізаків супортом для одночасної вирізки в трьох однакових деталей.

Після наплавлення фланці будуть проточуватись на фланцепроточувальному верстаті ФП-450, який призначений для проточування фланця або кільця, привареного до труби, проточування ущільнювальних канавок на площині фланця, проточування внутрішнього зварного шву в місці приварювання фланця до труби, видалення з фланця напливів та бризок від зварювання (рис. 4.3).

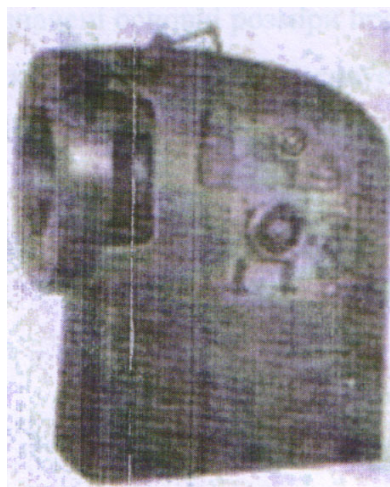


Рис. 4.3 Верстат для проточування фланців ФП-450

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Технічна характеристика верстата ФП-450 наведено в таблиці 4.1.

З великого різноманіття гідравлічних стендів для випробування труб з фланцевим з'єднанням, найбільш широко використовується стенд СГФ (рис 4.4) призначений для проведення гідравлічних випробувань трубопроводів з фланцевими з'єднаннями на міцність і щільність рідким середовищем (водою).

Таблиця 4.1 Технічна характеристика верстата ФП-450 [12]

Найменування	Величина
Діаметри оброблювальних виробів, мм	55...455
Зусилля затиску виробів, Па	300
Найбільше подовжнє переміщення шпинделя, мм	50
Частота обертання шпинделя, об/хв.	1650, 110, 70, 48
Поперечна подача, мм/хв. - механічна від центру - механічна до центру - ручна від центра і до центру	0,42 0,40 0,80
Хід супорту, мм	170
Потужність електродвигуна, кВт	2,1
Габаритні розміри, мм	940x1250x1650
Маса, кг	1300

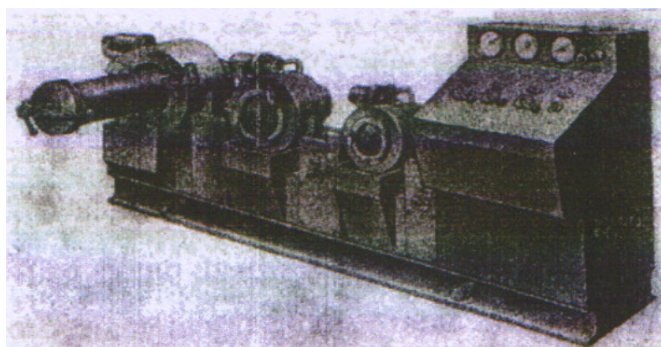


Рис. 4.4 Стенд для гідравлічних випробувань труб з фланцями

На рамі стенда встановлені три затискні голівки, пневмогідравлічний насос, пневматична та гідравлічна апаратура управління для регулювання і контролю режиму випробувань. Пневмогідравлічний насос має дві смужки нагнітання - постійної продуктивності. Номінальний тиск рідини, що розвивається насосом, 700 МПа. Продуктивність насоса без протитиску складає 16 л/хв [4]. Технічна характеристика стенда для гідравлічних випробувань труб з фланцями СГФ наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Технічна характеристика стенда для гідравлічних випробувань труб з фланцями СГФ [13]

Найменування	Величина
Діаметр труб (умовні проходи), мм	40...250
Найбільший робочий гідравлічний тиск, Па	6,0
Кількість труб, що випробують одночасно, шт.	3
Тиск у цеховій магістралі, необхідний для роботи стенду, МПа	
- води	20
- повітря	40...50
Габаритні розміри, мм	3050x730x1400
Маса, кг	1725

Затискна голівка складається з пневматичного притискного циліндра, скоби з автоматичними що повертаються Г - подібними прихватками, а також корпусу, в який вбудовується гідравлічний підсилювач. Завдяки гідравлічному притисненню утворюється додаткове зусилля, пропорційне тиску рідини в напірній магістралі.

4.3 Висновки

В технологічній частині розроблено конструкція біметалічного фланця замість латунного. Запропоновано технологічний процес виготовлення суднових трубопроводів з використанням біметалічних фланців.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Економічна оцінка запропонованих технологічних рішень

Для підвищення зносостійкості фланців суднових трубопроводів і зменшення їх собівартості та трудомісткості виготовлення розглянута можливість заміни латунних фланців біметалічними де основою є низьковуглецева сталь ВСтЗсп. На робочу поверхню наплавляємо мідно-нікелевий сплав МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, який володіє високою стійкістю проти корозії. На рис. 5.1, 5.2 представлено розміри і конструкція біметалічного фланця [4].

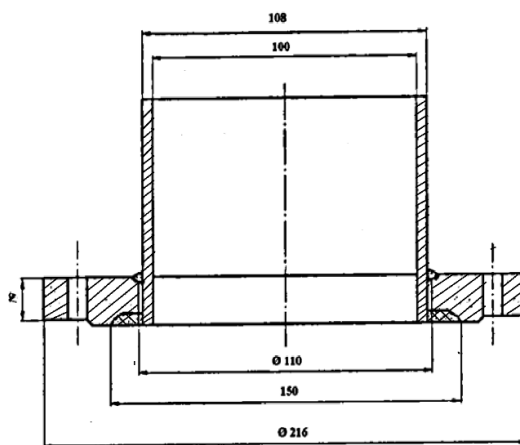
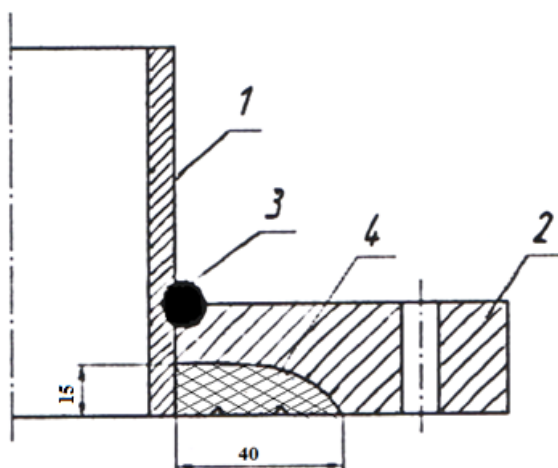


Рис. 5.1 Розміри біметалічного фланця



1 - труба зі сплаву МНЖ 5-1; 2 - стальний фланець; 3 - зварювальний шов фланця з трубою; 4 - наплавлений шар у місці ущільнювальної поверхні

Рис. 5.2 Конструкція біметалічного фланця

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Розрахунок собівартості матеріалів

Витрати на наплавочні матеріали визначаються по формулі:

$$C_M = C_{\text{др}} + C_{\text{газ}} \quad (5.1)$$

де $C_{\text{др}}$ - вартість наплавлюваного дроту марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 при наплавленні, грн;

$C_{\text{газ}}$ - вартість захисного газу (аргон), грн.

Визначаємо кількість наплавленого металу:

$$M_{\text{н.м.}} = S \cdot h \cdot \gamma \quad (5.2)$$

де S – площа наплавлення, см^2 (рисунок 5.1);

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 0,785 \cdot (15^2 - 11^2) = 81,64 \text{ см}^2;$$

D - зовнішній діаметр наплавлення, $D = 15 \text{ см}$;

d - внутрішній діаметр наплавлення, $d = 11 \text{ см}$;

h - висота наплавлених шарів (з розрахунку необхідної кількості наплавлених шарів (таблиця 2.2) видно, що достатньо 4 шарів наплавлення по 3 мм кожен), $h = 3 \cdot 3 + 3 + 3 = 1,5 \text{ см}$ (рисунок 5.2);

γ — густина металу, $\gamma = 8,8 \text{ г/см}^3$.

$$M_{\text{н.м.}} = 81,64 \cdot 1,5 \cdot 8,8 = 1077 \text{ г}$$

Витрати на зварювальний дріт ($C_{\text{др}}$, грн.) визначається за формулою:

$$C_{\text{др}} = M_{\text{н.м.}} \cdot R1 \quad (5.3)$$

де $M_{\text{н.м.}}$ – кількість наплавленого металу, $M_{\text{н.м.}} = 1077 \text{ г}$.

$R1$ – вартість 1 кг дроту МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, $R1 = 5225 \text{ грн/кг}$ [22].

$$C_{\text{др}} = 1,077 \cdot 5225 = 5627 \text{ грн.}$$

Витрати на захисний газ (Ar) визначаються по формулі:

$$C_{\text{газ}} = T_{\text{ш.к}} \cdot N \cdot R2 \quad (5.4)$$

де $T_{\text{ш.к}}$ - трудомісткість виконання наплавлення, н-год;

N - питома витрата газу, $N = 8 \text{ л/хв} = 0,5 \text{ м}^3/\text{год}$;

$R2$ – вартість 1 м^3 газу (Ar), $R2 = 210 \text{ грн/м}^3$ [23].

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Час горіння дуги визначаємо за формулою:

$$T_{\text{оп}} = \frac{M_{\text{н.м.}}}{I_{\text{зв}} \cdot \alpha_{\text{н}}} \quad (5.5)$$

де $M_{\text{н.м}}$ - кількість наплавленого металу, $M_{\text{н.м}} = 1077$ г;
 $I_{\text{зв}}$ - зварювальний струм при виконанні наплавлення, $I_{\text{зв}} = 140$ А;
 $\alpha_{\text{н}}$ - коефіцієнт наплавлення, $\alpha_{\text{н}} = 9 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$.

$$T_{\text{оп}} = \frac{1077}{140 \cdot 9} = 0,85 \text{ год}$$

Трудомісткість виконання наплавлення визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ш.к.}} = \frac{T_{\text{оп}}}{a_0} \quad (5.6)$$

де $T_{\text{оп}}$ - час горіння дуги, $T_{\text{оп}} = 0,85$ год;
 a_0 - коефіцієнт основного часу, $a_0 = 0,7$ %

$$T_{\text{ш.к.}} = \frac{0,85}{0,7} = 1,2 \text{ н-год}$$

Визначаємо вартість захисного газу за формулою (5.5):

$$C_{\text{газ}} = 1,2 \cdot 0,5 \cdot 210 = 126 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на зварювальні матеріали становлять:

$$C_{\text{м}} = 5627 + 126 = 5753 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок витрат на заробітну плату

Загальні витрати на заробітну плату становлять:

$$C_{\text{з}} = T_{\text{ш.к.}} \cdot C_{\text{р}} \quad (5.7)$$

де $C_{\text{р}}$ – тарифна ставка зварювальника, $C_{\text{р}} = 82$ грн/н-год.
 $T_{\text{ш.к.}}$ – трудомісткість виконання наплавлення, $T_{\text{ш.к.}} = 1,2$ н-год.

$$C_{\text{з}} = 1,2 \cdot 82 = 98,4 \text{ грн.}$$

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$C_e = M_{н.м} \cdot Q_e \cdot q_e \quad (5.8)$$

де $M_{н.м}$ - кількість наплавленого металу, $M_{н.м} = 1077 \text{ г} = 1,077 \text{ кг}$.

Q_e - питома витрата електроенергії при наплавленні від випрямляча, $Q_e = 4,0 \text{ кВт-год/кг}$;

q_e - вартість електроенергії, $q_e = 3,80 \text{ грн/кВт-год}$.

$$C_e = 1,077 \cdot 4,0 \cdot 3,80 = 16,37 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок витрат на амортизаційні відрахування

Витрати на амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$C_{a.в} = \frac{T_{ш.к} \cdot K_a \cdot A_{в}}{100 \cdot \Phi_e \cdot K_3} \quad (5.9)$$

де $T_{ш.к}$ - штучно калькуляційний час на наплавлення, $T_{ш.к} = 0,97 \text{ н-год}$;

K_a - вартість обладнання з джерелом живлення, $K_a = 92000 \text{ грн.}$;

$A_{в}$ - норма річних амортизаційних відрахувань по устаткуванню, $A_{в} = 16,6\%$;

K_3 - коефіцієнт завантаження устаткування; $K_3 = 0,8$;

Φ_e - ефективний річний фонд часу устаткування, год.; $\Phi_e = 2000 \text{ год}$.

$$C_{a.в} = \frac{1,2 \cdot 62000 \cdot 16,6}{100 \cdot 2000 \cdot 0,8} = 11,47 \text{ грн.}$$

5.5 Визначення собівартості ручного аргонодугового наплавлення при виготовленні біметалічного фланця

Загальна собівартість на виконання наплавлення визначається за формулою:

$$C_{н} = C_{м} + C_3 + C_e + C_{a.в} \quad (5.10)$$

					МР. 132. 6121м. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_m - витрати на зварювальні матеріали, грн;
 C_z - витрати на заробітну платню, грн;
 C_e - витрати на електроенергію, грн.

Визначаємо загальну собівартість наплавлення фланца

$$C_n = 5753,00 + 98,40 + 16,37 + 11,47 = 5879,24 \text{ грн.}$$

Висновок: собівартість технологічного процесу наплавлення фланців складає 5879 грн.

					MP. 132. 6121м. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

- застосування імпульсної подачі електродного дроту дає можливість керувати величиною струму дуги на стадії зростання краплі, що дозволяє суттєво знизити глибину проплавлення при наплавленні, ступінь розбризкування, покращити механічні властивості.
- проведений аналіз системи сил, що діють на краплю електродного металу при постійній подачі електродного дроту, показав, що найбільш перспективним для зовнішнього технологічного впливу на перенесення електродного металу в розглянутому циклі є його третя ділянка (рис. 2.2).
- проведені дослідження і отримані результати показують, що за допомогою параметрів ІПЕД (частота, шпаруватість) з'являється можливість без зміни енергетичних параметрів і продуктивності процесу зварювання здійснювати управління формою поперечного перерізу валика (рис. 2.7-2.11).
- встановлено, що параметри ІПЕД дозволяють в досить широкому діапазоні впливати не тільки на геометрію валика наплавленого металу, але і також - на втрати електродного металу, підвищуючи стабільність процесу дугового наплавлення, що вельми актуально для оптимізації технологічного процесу.
- розглянуто процес заміни латунних фланців на біметалічні з наплавленням корозійностійких шарів у місці ущільнюючих поверхонь.
- проведено розрахунок кількості шарів, який показує, що при аргонодуговому наплавленні в чотири шари склад наплавленого

металу є близьким до матеріалу наплавлення, а при плазмовому у два шарі;

- розраховані параметри режимів наплавлення;
- розрахований термічний цикл при напавленні на сталь ВСт3сп, очікувана структура ЗТВ – ферито-перлітна з твердістю 290 HV.

В процесі технологічних розробок прийняті наступні рішення:

- розроблено конструкція біметалічного фланця замість латунного;
- на основі обраного обладнання і матеріалів розроблено технологічний процес виготовлення суднових трубопроводів з використанням біметалічних фланців двома варіантами: роздільний або разом;
- проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при виготовленні біметалічних фланців суднових трубопроводів;
- розроблені заходи щодо усунення та зниження впливу небезпечних та шкідливих факторів на працюючий персонал;
- розраховано опір захисного заземлення, який відповідає умовам нормативних документів для забезпечення безпечних робіт;
- за результатами економічних розрахунків встановлено, що собівартість технологічного процесу наплавлення біметалічних фланців складає 5879 грн.

					МР. 132. 6121м. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Список джерел інформації

1. <https://hsp.com.ua/uk/poslugi/komplektujuchi/vigotovlennja-ta-montazh-sistem-sudnovih-truboprovodiv>
2. <https://hsp.com.ua/uk/poslugi/remont-pereobladnannja-izoljacijni-roboti/sudnovi-sistemi-truboprovodiv>
3. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022 – 25.03.2022.– Одеса: НУ "ОМА", 2022. – 209 с.
4. Власенко А.Ю. Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» на тему «Удосконалення технології підвищення зносостійкості фланців», Миколаїв, 2024. – 57 с.
5. Голобородько, Ж.Г. Основи технології дугового зварювання суднових конструкцій: навчальний посібник [Текст] / Ж.Г. Голобородько, С.В. Драган, В.В. Квасницький; під заг. ред. С.В. Драгана. – Миколаїв: НУК, 2013. – 380 с.
6. <https://arsenal-ooo.com.ua/directions/Metals/products/BaseMetals/Copper/CuNi/#ChemicalComposition>
7. Костін, О.М. Зварювальні матеріали: навчальний посібник [Текст] / О.М. Костін. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
8. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови хімовозів. – Київ, 2020. – 68 с.
9. Драган, С.В. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра (для студентів за напрямом підготовки 6.050504 “Зварювання”, спеціальність “Технології та устаткування зварювання”) [Текст] / С.В. Драган, Г.В. Єрмолаєв, Ж.Г. Голобородько та ін. // – Миколаїв: НУК, 2015. - 62 с.
10. Лебедев В.А., Лендел И.В., Яровицын А.В., Лось Е.И., Драган С.В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой

					МР. 132. 6121м. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. — 2016. — № 3 (751). — С. 25-30.

11. Лендел І. В. Дугове наплавлення в вуглекислому газі з імпульсною подачею електродного дроту. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. - Київ – 2015. 21с.
12. Лебедев В.А. Техника и технология дуговой сварки и наплавки (нестационарные процессы и режимы работы): монография / В.А. Лебедев, А.Н. Гедрович. – Луганск. Ноулидж, 2010. – 255 с.
13. Власенко Артем, Воронов Дмитро Наукова робота на Міжнародний студентський професійний творчий конкурс «Матеріалознавство» на тему «Регулювання геометричних розмірів шва при імпульсній подачі електродного дроту», Харків, 2025. – 22 с.
14. Лебедев В. А. Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 19-22.
15. Патон Б.Е. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, В.Г. Пичак, С.И. Полосков, Л.Н. Щавелев // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 24-31.
16. V. Lebedev, S. Loy, A. Labartkava, G. Zhuk / Operational Characteristics of the Welding Joint and the Overlay at the Mechanized Arc Welding-Overlay with Pulse of the Electrode Wire Supply. BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, vol. 15, no. 3, 2021, P. 19-26.
17. Інноваційна техніка і технології для електродугового зварювання та наплавлення / В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов, М. М. Бриков, Н. О. Макаренко, Г. В. Жук, С. А. Лой. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 262 с.
18. Лебедєв В.О. Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу / В.О. Лебедєв, В.О.

Тищенко, М.М. Бриков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. № 1. С. 62–69.

19. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И.К. Походня, В.Н. Горленюк, С.С. Миличенко и др.; Под ред. И.К. Походни; АН УССР. Ин-т электросварки им. Е.О. Патона.- К.: Наукова думка, 1990.- 224 с.
20. Лебедев, Ю.М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні: методичні вказівки до виконання курсової роботи. [Текст] / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.А. Лой. - Миколаїв: НУК, 2007.– 64 с.
21. <https://studfile.net/preview/8849362/page:6/>
22. <https://jasic.ua/product/cuni5fe1-10-5kg-870>
23. <https://tranzit-s.com.ua/ua/p2474867-argon-gazoobraznyj-zapravka.html>

					МР. 132. 6121м. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

