

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до дипломної роботи (проекту)

**магістра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: *Розроблення автоматизованого методу контролю поверхонь  
металоконструкцій, відновлених роботизованим наплавленням*

Виконали: студенти

6 курсу групи КАМ-61

спеціальності

151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

**Попович Ю.Ю.**

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ проф. **Марущак П.О.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_ ст. викл. **Козбур І.Р.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_ доц. каф. КТ **Золотий Р.З.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2022

## РЕФЕРАТ

Попович Юрій Юрійович *Розроблення автоматизованого методу контролю поверхонь металоконструкцій, відновлених роботизованим наплавленням.* - Тернопіль, ТНТУ, 2022. – 88 с.

Ця кваліфікаційна робота магістра містить відомості про обробку електронно-мікроскопічних зображень зламів зварних швів виконаних роботизованим методом. Так, у першому розділі розглянуто особливості виконання зварних швів, найбільш відомі засоби їх отримання, технології аналізу та обробки зображень.

В роботі проаналізовано методи та алгоритми попереднього аналізу та обробки фрактографічних зображень, в які включені етапи введення, калібрування, дискретизації та сегментації зображень. Для цих етапів даються основні визначення та розглядаються алгоритми, найбільш актуальні при виділенні об'єктів. Важливим питанням є розпізнавання об'єктів на зображеннях. Дано параметри визначення об'єктів на зображенні, схема їх виділення, класифікація характеристик, алгоритми визначення та корекції їх форми. Методи обчислення характеристик, структура алгоритмів, що дозволяють визначити всі основні етапи обчислення характеристик, описано на основі ієрархічного підходу, у якому характеристики розбиті на кілька рівнів. У більшості випадків кожна характеристика відображає лише одну сторону об'єкта, і для його якісного опису необхідно комплексно використовувати набори характеристик та їх комбінацій, що потребує розуміння їх змісту та призначення.

Розглянуто підхід, який дозволяє створювати проблемно-орієнтовані та спеціалізовані експертні системи, налаштовані на певну аналізовану ділянку контрольованого об'єкту. Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

## ЗМІСТ

Вступ	12
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1. Роботи для зварювання	14
1.2. Давачи зварювальних робіт	19
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	
2.1. Схема технологічного процесу зварювання корпусу зворотного затвору ИА 44077-1000М	24
2.2. Характеристика матеріалу та його зварюваності	27
2.3 Вибір зварювальних матеріалів	34
2.4 Розрахунок параметрів режимів зварювання	38
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	
3.1. Вибір основного зварювального обладнання	49
3.2. Контроль якості зварного шва	56
3.3. Методи контролю якості зварних з'єднань	58
3.4. Дефекти зварних з'єднань	61
<b>4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
<b>5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	
5.1. Результати досліджень ямок відриву	67
5.2. Форми ямок в'язкого відриву та їх зв'язок з фрактальною розмірністю	71
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	
6.1. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів	78
6.2. Забезпечення нормальних умов праці	79
6.3. Забезпечення безпеки технологічних процесів монтажу і експлуатації обладнання	86
<b>7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	88

ВИСНОВКИ

91

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

92

## ВСТУП

Зварювальні роботи - це промислові роботи, які займаються зварюванням (включаючи різання та розпилення). З розвитком комп'ютерних технологій, цифрового програмного керування та технологій роботів, автоматичні зварювальні роботи використовуються у промисловості з 1960-х років.

Це забезпечує наступні переваги :

- 1) Стабілізація та покращення якості зварювання та чисельний контроль якості зварювання;
- 2) Підвищення продуктивності праці;
- 3) Зростання інтенсивності праці працівників і можливість віддаленого зварювання у шкідливих умовах;
- 4) Зниження вимог до робочих навичок робітників;
- 5) Період підготовки до модифікації та заміни продукту скорочується, а відповідні інвестиції в обладнання зменшуються.

Зварювальні роботи в основному мстять 2 частини:

- робот;
- зварювальне обладнання.

Робот складається з корпусу робота та шафи керування (апаратної та програмної). Зварювальне обладнання, на прикладі дугового та точкового зварювання, складається з джерела зварювального живлення (включаючи його систему керування ), пристрою подачі дроту (дугове зварювання), зварювального пальника (кусачки) та інших частин. Мають бути також сенсорні системи для інтелектуальних роботів , такі як лазерні давачи або давачи камери та пристрої їх керування.

Зварювальні роботи, вироблені в різних країнах світу, в основному є шарнірними роботами , і більшість із них забезпечують 6 осей обертання. Серед них осі 1, 2 і 3 можуть направляти кінцевий інструмент у різні просторові позиції, тоді як осі 4, 5 і 6 можуть вирішувати різні вимоги до положення інструменту. Механічна конструкція корпусу зварювального робота в основному має дві форми: одна — паралелограмна структура, а інша — бічна (маятникова)

конструкція. Основна перевага бокової (маятникової) конструкції полягає в тому, що верхні та нижні руки мають великі діапазони руху, що робить робочий простір робота майже сферичним. Тому робота можна повісити на стійку догори ногами, щоб заощадити місце на підлозі та полегшити переміщення предметів по підлозі. Однак цей маятниковий робот має консольну конструкцію з 2 і 3 осями, що зменшує жорсткість робота, і, як правило, підходить для робіт з невеликими навантаженнями, такими як дугове зварювання, різання або розпилення.

Верхнє плече робота-паралелограма приводиться в рух тягою. Тяга і нижній важіль утворюють дві сторони паралелограма. Звідси й назва. Раніше розроблені роботи-паралелограми мали відносно невеликий робочий простір (обмежений передньою частиною робота), що ускладнювало роботу у підвішеному стані. Однак новий тип паралелограмного робота ( паралельний робот ), розроблений з кінця 1980-х років, зміг розширити робочий простір до верхньої, задньої та нижньої частини робота. Така конструкція підходить не тільки для легких, але і для важких робіт. В останні роки в роботах для точкового зварювання (з навантаженням 100-150 кг) переважно використовуються роботи з паралелограмною структурою.

Після застосування роботизованого зварювання зовнішній вигляд і внутрішня якість зварних деталей значно покращуються, а стабільність якості гарантується, трудомісткість знижується, а робоче середовище покращується тому вдосконалення його, з точки зору автоматизації є важливим промисловим і науковим завданням.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Роботи для зварювання

Робототехніка є стратегічною галуззю, яка викликає велике зацікавлення в розвинутих країнах. Наша країна також активізує зусилля щодо сприяння застосуванню роботів у таких галузях промисловості, як кораблебудування, літакобудування, широко застосовуються, давачі та інструменти, щоб підвищити рівень інтелекту виробничого процесу. У порівнянні з роботами загального призначення, зварювальні роботи виконують складні процеси та мало повторюваних завдань, що вимагає від них певного рівня інтелекту для автоматичного коригування відповідних процедур для завершення зварювальних робіт.

В даний час використання роботів в галузі машинобудування знаходиться у стані стагнації, ця сфера все ще повністю монополізована іноземними державами. В даний час вони розробили роботів для зварювання кабін судна та роботів для зварювання порталних кораблів та інших металоконструкцій.

Зварювальні роботи широко використовуються в автомобільній промисловості, але загалом, у машинобудуванні ситуація інша. Виходячи з виробничих характеристик автомобілебудування, можна було використовувати роботів на певних технологічних операціях, проте для зварювання довгомірних металоконструкцій роботам доводиться рухатися всередині або зовні конструкцій, щоб виконувати зварювальні роботи, що ускладнює застосування роботизованого зварювання.

Апаратне забезпечення зварювального робота для машинобудівної промисловості можна розділити на три частини, які включають режим руху, захоплювач робота та зварювальні пристрої. Типи роботів можна описати трьома ознаками:

### 1) Режим руху

Режим руху – це спосіб, у який рухається робот. Зокрема для автомобільної промисловості розмір кузова автомобіля невеликий, а вага деталей незначна, порівняно, наприклад з з корабельною секцією, зручно переміщати автомобіль і

фіксувати роботів на робочих місцях. На відміну від автомобільної промисловості, зварювальні роботи у суднобудуванні повинні мати можливість пересуватися. Є три способи зробити робота рухомим.

-перший, який зараз зазвичай використовують на верфі, це порталний робот. Цей тип робота переноситься на порталі, і його можна підняти та перемістити в положення для зварювання з верхньої частини секції. У 1990 році перший робот, встановлений на порталі, був інтегрований у виробництво на верфі Odense Steel.

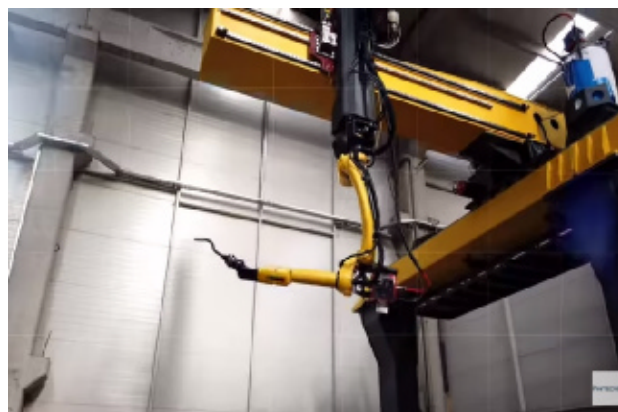
Переваги цього методу перераховані нижче:

- а) портали широко використовують на суднобудівних верфях, що робить їх зручними для поєднання з роботами та зварювальними пристроями та легкими для застосування в цеховому виробництві.
- б) зручно керувати роботом і переміщувати його зварювальні пристрої, оскільки коробку живлення можна розмістити на порталі, і працівники також можуть підніматися на портал, щоб перевірити або контролювати пристрої.
- в) руки робота та зварювальні пристрої можна легко замінювати, а кількість роботів можна коригувати відповідно до технологічних вимог.

На рис. 2.1, нижче, показано порталний робот, який використовується на судноверфях.



а



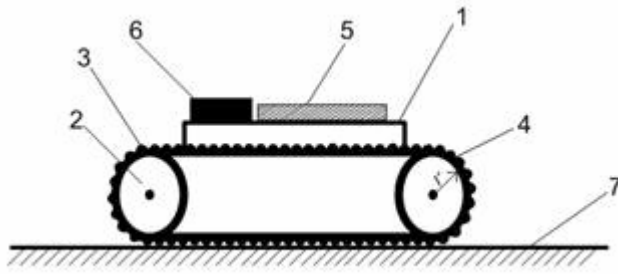
б

Рис. 1.1. Портальні зварювальні роботи



Цей метод переміщення також має певні обмеження, наприклад, конструкції, які потрібно зварити роботом, не можуть бути надто складними. Великий розмір порталного робота також не дозволяє зварювати закриті конструкції зсередини, отже вони працювали лише в робочому положенні «згори».

Через обмеження порталного робота розроблені інші конструкції, які мають інші способи пересування. На рис. 1.2 показано конструкцію мобільного робота на основі проекту CARLoS. Можна побачити, що основа руки робота – це мобільна платформа на колісному, або гусеничному ході, яка забезпечує переміщення робота, тобто робить його мобільним роботом. Цей тип робота може бути невеликого розміру і не мати обмежень за розміром, як порталний робот, але він все ще має певні недоліки, зокрема, роботом важко керувати та переміщатися всередині металокопункцій. Відповідно до характеристик вузького простору було розроблено невеликий мобільний зварювальний робот. Відповідно до характеристик руху кожної конструкції робота, механізм робота розділений на три частини: колісна мобільна платформа, механізм регулювання зварювального пальника та давач дуги, за допомогою методу модульного проектування. Через велику інерцію та повільну реакцію, колісна мобільна платформа в основному виконує грубе відстеження зварного шва, механізм регулювання пальника відповідає за точне відстеження зварного шва, а давач дуги завершує ідентифікацію відхилення зварного шва, в реальному часі. Крім того, контролер робота та драйвер двигуна інтегровані та встановлені на мобільній платформі робота. Щоб зменшити вплив пилу на рухомі частини в суворих умовах зварювання, використовується повністю закрита конструкція для підвищення надійності системи, рис. 1.2.



а



б

Рис. 1.2. Мобільний робот:

а – принципова схема мобільної платформи: 11 – корпус, 2 – провідний каток, 3 – гусениця, 4 – ведений каток, 5 – система автоматичного керування електроприводами пристрою, 6 – батареї живлення, 7 – поверхня, по якій переміщається робот.

б - розроблений робот за проектом CARLOS

Третій спосіб зробити робота рухомішим - поєднання першого та другого і комбінація двох методів – колійні роботи. Різниця між порталним роботом і колійним роботом полягає в тому, що колію робота можна легко змінити залежно від різних робіт, а зварну конструкцію можна використовувати як залізничну колію за певних умов. На рис. 3 подано зображення рейкового робота, розробленого INROTECH. Порівняно з іншими роботами, колійний робот не має стільки обмежень, він більш гнучкий, не надто складний для переміщення, і навіть може зварювати закриті конструкції зсередини, як показано на рис. 1.3.

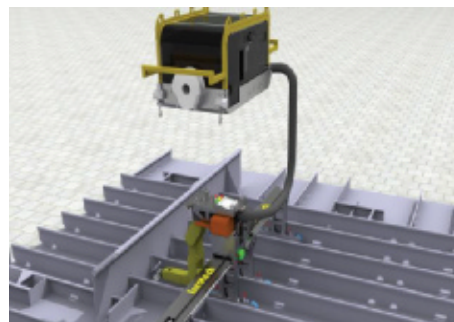


Рис. 1.3. Робот із рейковими коліями, розроблений INROTECH

Портальний робот підходить для виробництва секцій у приміщенні, але не може використовуватися для виробництва закритих конструкцій. Мобільний робот і робот для рейкових колій здатні зварювати закриту конструкцію зсередини і можуть застосовуватися не лише для будівництва секцій, але й для монтажу та оснащення секцій.

Якісне утворення зварного з'єднання визначається властивостями зварюваних металів, їх хімічним складом, вибором електродного й присадкового металу, режимами зварювання, температурою нагрівання та ін. На зварюваність значно впливає хімічний склад сталі. Зварюваність сталі змінюється залежно від вмісту вуглецю та легуючих елементів. Вплив окремих елементів проявляється по-різному, особливо в поєднанні з вуглецем.

Основні ознаки, що характеризують зварюваність сталей, - схильність до утворення тріщин і механічні властивості зварного з'єднання, які визначаються за допомогою зварювання контрольних зразків.

Знаючи хімічний склад сталі, можна визначити її зварюваність за еквівалентним вмістом вуглецю, який визначають за формулою (1):

$$C_{\text{екв}} = C + \text{Mn}/20 + \text{Ni}/15 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/10 ; \quad (1.1)$$

де цифри 20, 15 і 10 є постійними величинами, а символи кожного елемента означають максимальний вміст його в даній марці сталі у відсотках.

Для сталі Ст.20:

$$C_{\text{екв}} = 0,18 + 0,4/20 + 0,25/15 + 0,3/10 = 0,24.$$

Одержаний за цією формулою еквівалентний вміст вуглецю вказує про зварюваність сталей, які умовно поділяються на чотири групи (див. [6], підрозділ 4.7):

- добре зварювані сталі ( $C_{\text{екв}}$  не більше 0,25%);
- задовільно зварювані сталі ( $C_{\text{екв}} = 0,25-0,35\%$ );
- обмежено зварювані сталі ( $C_{\text{екв}} = 0,35-0,45\%$ );
- погано зварювані сталі ( $C_{\text{екв}}$  більше 0,45%).

Добра зварюваність низьковуглецевих сталей характеризується міцним зварним з'єднанням з основним металом без зниження пластичності в біляшовній зоні і без тріщин у металі шва.

Зварюваність сталей залежить від їх хімічного складу. Найбільший вплив мають вуглець і шкідливі домішки (сірка та фосфор), при збільшенні вмісту яких зварюваність погіршується. Для зварювання виробів в основному використовують конструкційні низьковуглецеві, низько- й середньолеговані сталі. Рідше зварюють високовуглецеві сталі. Основними труднощами, які виникають при зварюванні сталей є:

- схильність до утворення гартованих структур (у сталях із вмістом вуглецю понад 0,22%);
- схильність до утворення гарячих (вміст сірки) і холодних (вміст фосфору) тріщин;
- забезпечення достатньої міцності з'єднання.

На зварюваність сталі також впливають хімічний склад електродів, режими зварювання, температура навколишнього середовища, товщина сталі, закріплення елементів конструкцій, техніка виконання зварювання тощо.

Визначивши зварюваність Сталі 20 за еквівалентним вмістом вуглецю видно що сталь відноситься до групи добре зварюваних сталей. Отже це не завдасть великих проблем при виборі зварювальних матеріалів та обладнання .

Добре зварювані сталі — це низьковуглецеві та низьколеговані сталі, які не гартуються та зварюються без обмежень, незалежно від товщини металу, конфігурації швів і жорсткості конструкції в широкому інтервалі режимів зварювання. Для низьколегованих сталей з вмістом вуглецю більше 0,16%, товщині понад 25 мм і жорсткій конструкції необхідний попередній підігрів до 100-150°C;

## **1.2. Давачи зварювальних робіт**

Давачи зварювального робота поділяються на внутрішні давачи та зовнішні давачи. Внутрішні давачи можуть контролювати роботу корпусу робота. У разі ненормальних умов вони будуть вчасно передані назад до системи керування, і

робота буде припинена терміново зупиняється, щоб захистити корпус робота від пошкодження. Зовнішній датчик контролюватиме якість зварювання. Якщо є дефект зварювання, на ручному навчальному пристрої з'явиться попереджувальний сигнал, і оператор вживе заходів щодо виправлення.

1. Візуальний датчик: візуальний датчик еквівалентний очам зварювального робота. Візуальний датчик поділяється на двовимірний і тривимірний. Двовимірний візуальний датчик може виявляти стан руху деталей, а робот регулює позицію руху відповідно до стану руху частин; Лазерні сканери з різними кутами виявляють об'єкти та створюють тривимірні зображення для кращого аналізу рухів.

2. Механічний датчик: механічний датчик в основному визначає силу кінцевого ефектора. Механічний датчик знаходиться між кінцевим ефектором і пристосуванням. Коли кінцевий датчик зібрано та зварено, механічний датчик виконує певний моніторинг сили, щоб запобігти у разі застосування надмірної сили вводяться певні обмеження.



Рис. 1.4. Програмна активація датчика зусилля

3. Датчик відстеження швів: зварювальний робот має функцію автоматичного відстеження швів, яка може автоматично виявляти та регулювати положення зварювального пальника під час процесу зварювання, щоб зварювальний пальник міг контролювати положення зварювального шва, покращувати точність зварювання та ефективна стабілізація якості зварювання.

### *Система бачення зварювання Tracer 3D*

Система зварювального бачення Tracer 3D складається зі спеціальної для зварювання 3D-камери Tracer P1, програмного забезпечення для зварювального бачення TracerStudio та контролера. Її можна використовувати з різними основними зварювальними роботами для реалізації таких функцій, як виділення особливостей складних зварних швів, пошук траєкторії та вирівнювання та позиціонування заготовки. Він може бути застосований для позиціонування роботизованого зварювання з великими помилками складання, наприклад, сталевих конструкцій, панелей відсіків, сталевих стрижнів, дверей цивільної протиповітряної оборони та деталей трубної дошки, допомагаючи користувачам значно підвищити ефективність виробництва та зменшити витрати на робочу силу

#### *Контактне упізнання*

Це недорога програмна система тактильного визначення положення з'єднання. Вона заснована на використанні зварювального електрода, дроту або сопла як давача замикання електричного контакту з деталлю. Робот зберігає просторові дані про з'єднання і автоматично вносить поправки в дорогу дуги ще до її запалювання. Тактильне сканування дозволяє вносити виправлення в одному, двох або трьох вимірах, рис.1.5.

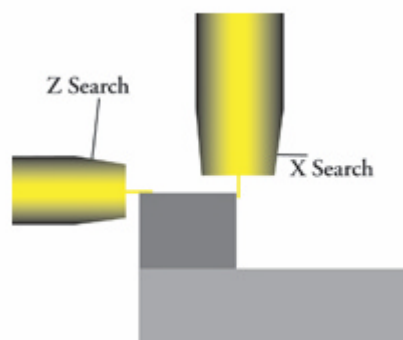


Рис. 1.5. Контактне розпізнання

Недоліком контактного розпізнавання є збільшення тривалості циклу через процедуру сканування. Зазвичай затримка становить 3-5 секунд кожне з'єднання.

Крім того, для ефективного контактного розпізнавання деталей повинна мати яскраво виражені краї, які міг би знайти давач.

#### *Сканування з'єднання через дугу*

TAST (Through Arc Seam Tracking, сканування з'єднання через дугу) це ще один порівняно недорогий метод програмного визначення положення шва. Тут визначення вертикального положення пальника використовуються дані про величину зварювального струму. У міру зростання відстані між контактним наконечником та робочим виробом сила струму падає, зменшення – зростає. На основі цієї інформації TAST коригує вертикальне положення пальника, щоб підтримувати однаковий виліт дроту. Аналогічно TAST використовує інформацію про силу зварювального струму, щоб визначити бічне положення пальника в з'єднанні в ході поперечних коливань маніпулятора робота. У центрі з'єднання сила струму мінімальна. У міру наближення пальника до крайніх положень коливань сила струму досягає піку.

Хоча TAST є недорогим рішенням для роботи з неякісно підготовленими з'єднаннями, налаштування необхідних для її роботи змінних вимагає багато часу і хорошого розуміння процесу зварювання. Крім того, TAST не можна використовувати для зварювання алюмінію, оскільки зміна струму в ході коливань буде недостатньо вираженою для надійного відстеження з'єднання. Крім того, після впровадження системи процес зварювання повинен залишатися досить стабільним, щоб роботу не надходили дані про силу струму, що сильно варіюються. TAST найкраще підходить для зварювання матеріалів завтовшки понад 2 мм зі швидкістю 89-127 см/хв.

#### *Системи 2D та 3D сканування*

Системи 2D-сканування, наприклад, Robot Vision® (iRVision®) від інтегратора Fanuc Robotics, Inc.®, служать з тією ж метою, що й системи тактильного виявлення – для скорочення тривалості циклу та підвищення якості продукції. iRVision® служить для відстеження положення з'єднання, внесення поправок у програму робота та запобігання помилкам під час зварювання. Для цього оператор повинен відкалібрувати камеру для кожної деталі або типу

з'єднання та «показати» роботу, як виглядає ідеальна деталь. Це еталонне зображення зберігається на згадку робота. Після цього перед зварюванням кожної наступної деталі камера робить знімок з'єднання і робот порівнює отримане зображення з зразком. Після цього робот розраховує необхідні поправки та виконує зварювання, рис.1.6.

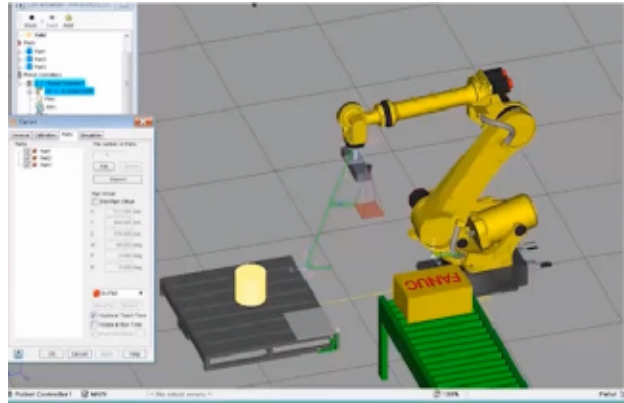


Рис. 1.6. Robot Vision® (iRVision®) від інтегратора Fanuc Robotics

Водночас, подібно до контактних систем виконання цих розрахунків йде по 3-5 секунд на кожну деталь, у 2D-камери на це йде десяті частки секунди. Крім того, 2D-камера дозволяє працювати з матеріалами тонше 1 мм, оскільки для визначення положення з'єднання роботу не потрібно торкатися деталі. Щоб зменшити ймовірність помилки, камера робить знімок для підтвердження правильності орієнтації з'єднання та присутності запобіжних пристроїв. Ця функція дозволяє відтарувати камеру та запобігти помилкам або виявити їх до виконання наступної операції. Для 2D-сканування дуже важливо освітлення. Сторонні джерела освітлення, зокрема сонячне світло, стельове освітлення або інші зварювальні дуги, можуть викликати спотворення та знизити точність зіставлення зображень. Цей недолік систем 2D-відеоспостереження також може ускладнювати роботу з блискучими матеріалами, наприклад, алюмінієм. Крім того, камера може виявитися пошкодженою через близько розташовану зварювальну дугу. Якщо камера встановлена на самому пальнику, її оптика повинна бути захищена від високої температури та бризок металу.



## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

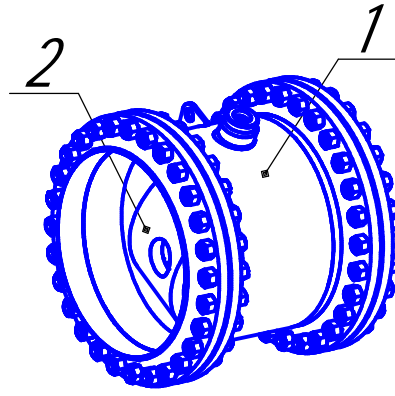
### 2.1 Схема технологічного процесу зварювання корпусу зворотного затвору ИА 44077-1000М

Затвор зворотний поворотний - тип трубопровідної арматури, в якому замикаючий або регулюючий елемент має форму диска, що повертається навколо осі, перпендикулярної або розташованої під кутом до напрямку потоку робочого середовища. Також ці пристрої називають заслінками, поворотними затворами, герметичними клапанами, гермоклапанами. Найбільш часто така арматура застосовується при великих діаметрах трубопроводів, малих тисках середовища і знижених вимогах до герметичності робочого органу, в основному в якості запірної арматури. У дискових затворах замикаючий елемент, тобто затвор, має форму диска, який може перекривати прохід робочої середовищі через кільцеве сідло в корпусі шляхом повороту (як правило на 90°) затвора навколо осі, перпендикулярної напрямку потоку середовища, при цьому вісь обертання диска може бути його власної віссю (осьові дискові затвори) або ж не збігатися з віссю (ексцентрикові дискові затвори). У зв'язку з деякою схожістю форми затвора з метеликом, в англійських країнах дискові затвори носять назву дросельної заслінки.

Затвори зворотні ИА 44077-1000М призначені для встановлення на трубопроводах АЕС систем нормальної експлуатації і систем безпеки з метою запобігання зворотного потоку робочого середовища (табл.1.1).

Клас і група 2ВПв, 2ВПа, 3СПа, 3СПв і 3СПс по НП 068-05, допускається постачання по IV класу безпеки.

Затвор зворотний поворотний являє собою короткий циліндричний корпус (1), через який протікає робоче середовище (рис.1.1). У середині корпусу розташована рухома частина, диск (2), що має можливість обертатися навколо своєї осі і таким способом, притискаючись до ущільнювальної поверхні корпусу, яка , перекриває прохід робочого середовища [6].

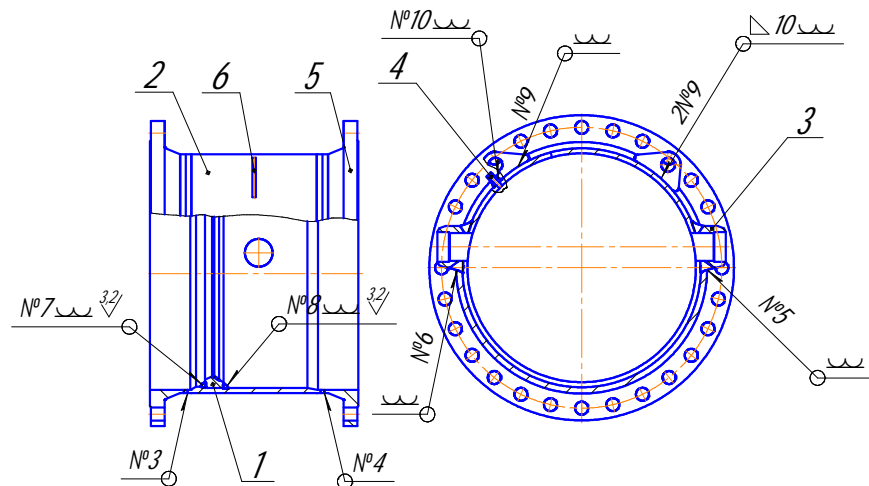


1- корпус; 2- рухома частина

Рис. 2.1. Загальний вигляд затвору зворотнього поворотного ИА 44077 – 1000М

Затвором (рухомою частиною запірного органу) цих пристроїв може бути плоский диск або двоопуклі, сочевичного перетину. Затвори (клапани) зворотні поворотні призначені для встановлення на трубопроводах з метою запобігання зворотного потоку середовища.

Конструкція дискових затворів дає можливість застосування їх на різних робочих середовищах із забезпеченням захисту від корозії і підвищеного зносу внутрішніх поверхонь корпусу і диска, для чого використовуються різні способи. Найпростішим з них є виготовлення цих деталей з вуглецевих сталей але з подальшою наплавкою ущільнюючих поверхонь зносостійкими матеріалами.



1- кільце; 2- обечайка; 3- бобишка; 4- штуцер;  
5- фланець; 6- вушко

Рис. 2.2. Конструкція затвору зворотнього поворотного ИА 44077 – 1000М

Таблиця 2.1 – Характеристика умов експлуатації виробу

Характеристика	Параметри
Клас, група і під категорія зварних з'єднань	ЗС-Шв
Умовний прохід DN, мм	1000
Робоче середовище	вода контуру багаторазової примусової циркуляції, пара, конденсат, розчин борної кислоти (бор $\leq 16$ г/л)
Розрахунковий (максимальний робочий) тиск Pp, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,5 (25)
Розрахункова температура К (°С)	523 (250)
Термін служби знімальних частин, років	40
Термін служби корпусних деталей, років	40

Приєднання затвора до трубопроводу найчастіше стягне, тобто отвори по краю фланця арматури пронизують шпильки від одного фланця трубопроводу до іншого, що ідеально підходить до конструкції пристрою, в рідкісних випадках затвори виготовляються з власними фланцями для з'єднання із зворотними фланцями трубопроводу (рис. 1.2). Управління дисковими затворами схоже з управлінням кульовими кранами, так як ці типи арматури вимагають для повного відкриття повороту замикаючого елемента на 90°. Воно здійснюється вручну (на великих діаметрах з маховиком і редуктором) або механізовано, за допомогою однооборотні або (для великих діаметрів) багатооборотних електроприводів, а також поршневих пневмо-і гідроприводів.

## 2.2 Характеристика матеріалу та його зварюваності

Вибір матеріалу – відповідальний етап, вірно вибраний матеріал визначає якість деталі. В арматуробудуванні для виготовлення деталей виробу

застосовують чорні та кольорові метали, їх сплави, комбіновані та неметалічні матеріали.

Фактори, які впливають на вибір матеріалу:

- відповідність матеріалу головному критерію працездатності (міцності, зносостійкості тощо),
- вимоги щодо маси, габаритів виробу,
- призначення деталі та умови експлуатації,
- відповідність технологічних властивостей конструктивній формі та способу обробки,
- коштовність та дефіцитність.

Властивості основних матеріалів для загального машинобудування:

міцність, жорсткість, дешевизна, технологічність (добре обробляються).

Деталі для виготовлення даного виробу такі як обечайка, бобишка, заглушка, кільце, диск, фланець, штуцер виготовляються із вуглецевої конструкційної сталі Ст. 20 ГОСТ1050-88, хімічний склад вказаний в таблиці 1.2. Структура сталі 20 являє собою суміш перліту і фериту. Термічна обробка сталі 20 дозволяє одержувати структуру рейкового (пакетного) мартенситу. При таких структурних перетвореннях міцність зростає, і пластичність зменшується. Після термічного зміцнення прокат зі сталі 20 можна використовувати для виготовлення метизної продукції.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 20 [6]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>
00,17- 0,24	0,17- 0,37	0,35- 0,65	До 0,25	До 0,04	До 0,04	До 0,25	До 0,25	До 0,08








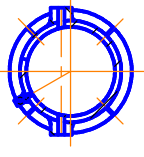
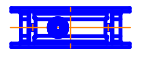
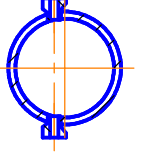
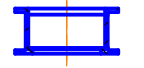
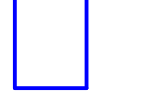
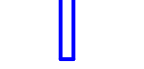


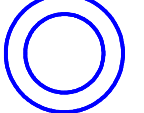
Механічні властивості сталі 20 вказані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості при T=20°C сталі 20 [6]

<b>Сортамент</b>	<b>Розмір</b>	<b>Напр.</b>	$\sigma_b$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	<b>KCU</b>	<b>Термообр.</b>
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м2	-

Лист термообробл., ГОСТ 4041-71	4 - 14		340- 490	-	28	-		-
Прокат, ГОСТ 1050-88	до 80		410	245	25	55		Нормалізація
Прокат відпал., ГОСТ 1050-88	-	-	390	-	21	50		-

Технологічний процес зварювання зварювання корпусу зворотнього затвора ИА 44077-1000М виконується в наступній послідовності: вхідний контроль основних і зварювальних матеріалів; розмітка заготовок згідно технологічних процесів, газової різки, мехобробки, на деталі; механізоване кисневе різання листа металу відповідних заготовок на деталі; механічна обробка врізаних заготовок на деталі під зварювання; зварювання фланців з обичайкою; механічна обробка зварних швів під контроль; рентгенографічний контроль зварних швів фланців; зварювання бобишок з корпусом; рентгенографічний контроль зварних швів бобишок; приварка ребер до корпусу; наплавка робочої поверхні кільця; термообробка наплавки і зварних швів; механічна обробка наплавки під контроль; капілярна дефектоскопія наплавки; зварювання штуцера з корпусом; механічна обробка всіх розмірів корпусу на чистові; свердління отворів в фланцях; зборка виробу; фарбування виробу (рисунок 2.1 Схема технологічного процесу ДП.ТЗ 04.00.00.000 ПЗ).

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Операція</p>  Розмітка  Газ. різка  Мех. різка  Мехобробка <p>Склад. звар</p> <p>Зварювання</p>  Термообробка  Дробеструїлка  Контроль	Застосування									
	—	—	—	—	+ +	+	+	+		Штуцер
	—	—	—	—	+ +	—	—	+		Рибра
	—	—	—	—	+ +	—	—	+		Бодішки і одьчайка
	—	—	—	—	+ +	—	—	+		Фланці і одьчайка
	+	—	+	+	—	—	—	—		Бодішка
	+	—	+	+	—	—	—	—		Штуцер
	+	+	—	+	—	—	—	—		Одьчайка
	+	—	+	+	—	—	—	—		Рибра
	+	+	—	+	—	—	—	—		Фланець

+ застосовується операція; - не застосовується

Рис. 2.3. Схема технологічного процесу

Фланці, кільце корпуса виготовлено із листового металу. На заготівельну дільницю лист металу 2х6м подається за допомогою мостового крана. Далі на листі робиться розмітка 3000х500х25 згідно технологічного процесу на деталь по відповідних розмірах і допуском на механічну обробку. Оскільки вище вказані деталі є великої товщини вирізати їх доцільніше на механізованій машині газового різання марки "Флагман ППлКЦ-1,5".

Портальна машина «ФЛАГМАН» з числовим програмним управлінням для плазмового різання листового прокату класу ППлКЦ -1,5(рисунок 2.2). Портальна машина «ФЛАГМАН» призначена для фігурного вирізанн деталей з листового прокату в автоматичному режимі з управлінням від вбудованого комп'ютера.

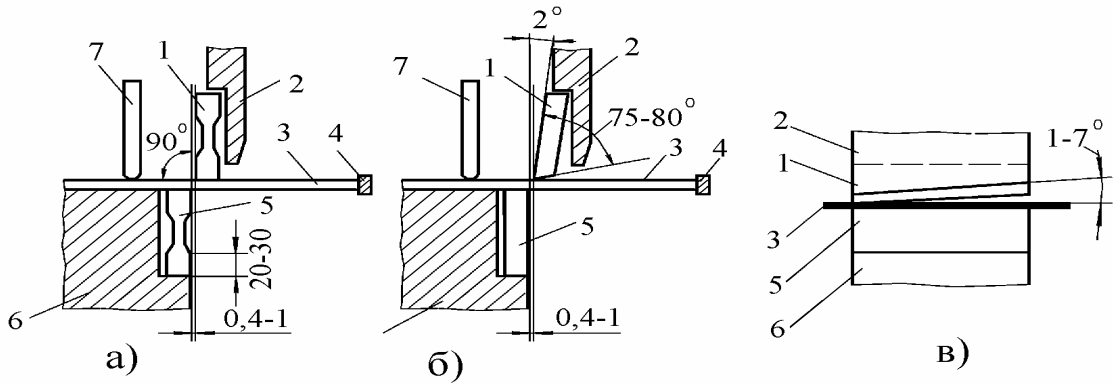


Рис. 2.4. Загальний вигляд портальної машини газового різання марки "Флагман ППлКЦ-1,5"

Паралельно цій операції здійснюється механічне різання. Лист ріжуть по відповідних розмірах для обичайки і ребер на гільйотинних ножицях СТД-9А .

Гільйотинні ножиці призначено для різання листової сталі товщиною до 32 мм і довжиною до 3200 мм. На гільйотинних ножицях обрізають поздовжні крайки й розпускають листову сталь на смуги, ріжуть поперек, розрізають листові деталі різних розмірів. Різ при різанні на гільйотинних ножицях є прямолінійним. Схема процесу показана на рис. 2.5.

Вальцювання обечайки виконують на чотирьох валкових вальцях СТД-14. У чотирьохвалкових машинах (рис. 2.6) верхній валок - привідний. Згинальними є два бічних ролика.[2]



а - ножі з пазами; б - похилий верхній ніж; в - похилі ножі;  
 1 - верхній ніж; 2 - ножова балка; 3 - розрізна сталь; 4-пересувний упор;  
 5 - нижній нерухомий ніж; 6 – стіл; 7 – притиск

Рис. 2.5. Схема різання листової сталі гільйотинними ножицями

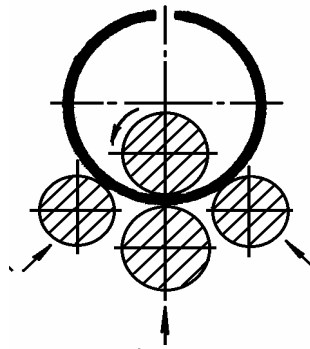


Рис. 2.6. Схема вальцювання на чотирьохвалкових вальцях



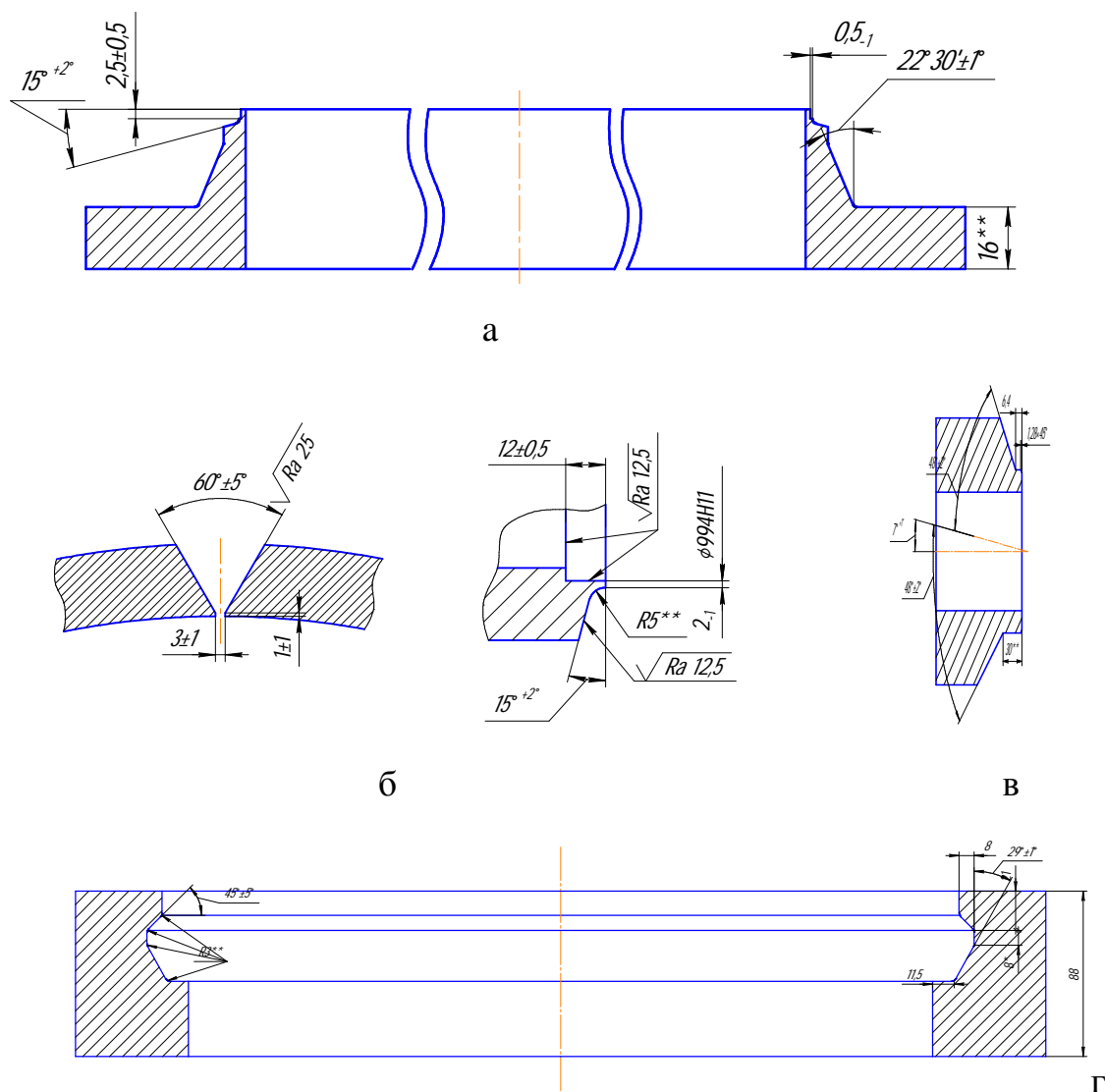
Рис. 2.7. Загальний вигляд верстата СЛП-8530

Також на даній дільниці механічним різанням вирізаються бобишки за допомогою стрічково-обрізного станка СЛП-8530 (рис. 2.7).



СЛП-8530 дозволяє скоротити витрати матеріалу за рахунок ширини різку. Станок дозволяє швидко і якісно різати сортовий прокат різного профілю, поковки, відливки чорних і кольорових металів.

Після різання заготовки фланців, кілець, завальцовані та зварені обичайки подаються на пост механічної обробки (рис. 2.6), де на токарно-карусельному верстаті марки 1525, обробляються згідно креслення і технологічного процесу на мехобробку під зварювання і наплавку.



а – фланець; б – обичайка; в – бобишка; г - кільце

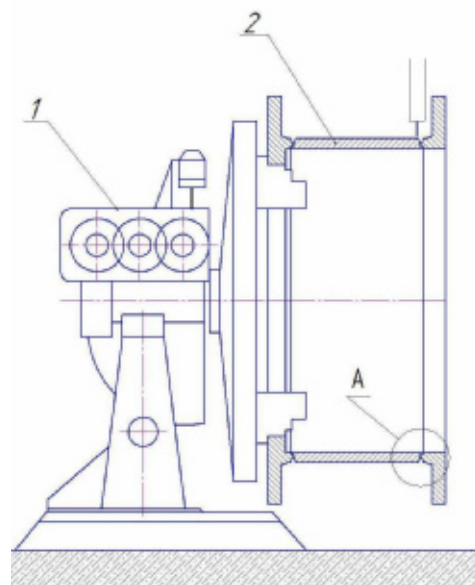
Рис. 2.8. Ескізи готових деталей після механічної обробки

Після того, як деталі пройшли всі етапи виготовлення вони складуються в спеціальну тару для подальшого транспортування.

Наступною операцією є складання і зварювання фланців з обичайкою. Для подачі заготовок із механічної дільниці до робочого місця здійснюється за допомогою кран-балки або електро-кари.

Після прихоплення, фланців з обичайкою зварюється за допомогою механізованої дільниці, яка складається з механізованої установки також на даній дільниці вварюється кільце в середину обичайки (рис. 2.7). Установка компонується з маніпулятора М-11050А з планшайбою і поворотної колони на консолі якої закріплена зварювальна головка.

Механізм обертання планшайби дає можливість змінювати швидкість зварювання в межах 30 - 120 м/год , для діаметрів від 400 - 2000 мм .

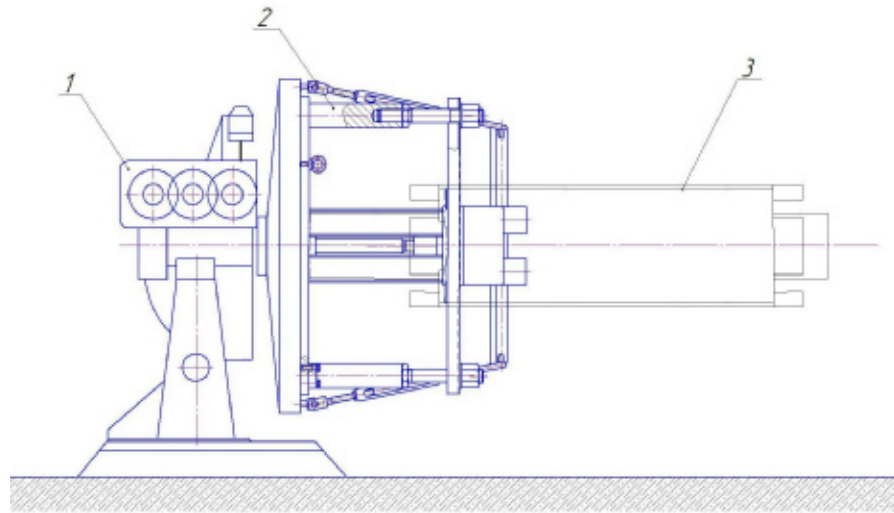


1- маніпулятор; 2 - корпус; 3 – автоматична головка;

Рис. 2.9. Загальна схема складання та зварювання фланців і кільця з обечайкою

Горизонтальна штанга з головкою може підніматися або опускатися на необхідну висоту за допомогою електропривода, встановленого нагорі колони. Струмо підведення у цьому випадку здійснено за допомогою вільної петлі кабелю.

Після того як було проведено зварювання фланців з обичайками і кільце, виріб за допомогою кран-балки транспортують на дільницю зварювання бобишок і штуцера з обичайкою (рис. 2.10).



1 – позиціонер; 2 – приспособлення для кріплення корпусу до позиціонера;  
3 – корпус;

Рис. 2.10. Загальний вигляд складання та зварювання штуцера і ребер

На даній ділянці відбувається складання і зварювання бобишок і штуцера з обичайкою після зварювання корпус за допомогою кран-балки транспортують на ділянку контролю якості. Після проходження контролю якості на цій ділянці ще зварюються ребра з обичайкою. Наступною операцією після зварки всіх корпусних деталей є наплавка кільця в середині корпусу дана операція здійснюється на ділянці приварки фланців. Після наплавки кільця йде термообробка зварних швів і наплавки. Кінцевими операціями є операція фарбування і пакування.

### **2.3 Вибір зварювальних матеріалів**

Підбір зварювальних матеріалів проводять залежно від сталі яка зварюється а також способу зварювання для того чи іншого шва. Правильний вибір зварювальних матеріалів дозволяє забезпечити рівномірність зварного металу із основним металом і відсутність дефектів у металі шва й у зоні термічного впливу. Вибравши спосіб зварювання і маючи матеріал, який зварюється можна вибрати зварювальні матеріали, які б забезпечили якісне формування зварного з'єднання.

Для проведення прихоплень фланця до обичайки застосовано електроди УОНИ 13/45 діаметром 4 мм. Дані електроди призначені для зварювання відповідальних конструкцій із низьколегованих і низько вуглецевих сталей, до яких ставляться підвищені вимоги до пластичності а також ударної в'язкості металу зварних швів. Зварювання проводять у всіх просторових положеннях, за допомогою постійного струму зворотної полярності.

Зварювання проводиться під шаром флюсу з використанням зварювального дроту Св 08А діаметром 3 мм, і флюсу АН 348 А. Зварювальний дріт СВ 08А виготовляється згідно ГОСТ 2246-70, дріт володіє низьким вмістом вуглецю, до 0,08%, а також пониженим вмістом сірки і фосфору, що позитивно впливає на якість зварного з'єднання і зменшує ймовірність виникнення холодних і гарячих тріщин (див. табл. 2.4) Зварювальний флюс АН 348 А виготовляються згідно ГОСТ 9087-81, призначені для захисту зварювальної ванни від дії зовнішнього середовища, а також можуть додатково легувати метал шва (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.4. - Хімічний склад зварювального дроту СВ-08А [8]

Хімічний елемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Al
Вміст елементу у %	≤ 0,10	≤ 0,03	0,35 - 0,60	≤ 0,12	≤ 0,25	0,03	0,03	≤ 0,01

Таблиця 2.5 - Хімічний склад флюсу АН 348А (%) [8]

Хімічний елемент	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P	CaF <sub>2</sub>
Вміст елементу у %	40,0-44,0	31,0-38,0	<12,0	<7,0	<13,0	0,5-2,2	<0,11	<0,12	3,0-6,0

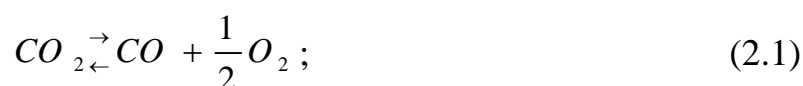
Приварювання бобишок до корпусу здійснюємо ручним аргонодуговим зварюванням, використовуючи зварювальний дріт Св-08Г2С і аргон по ГОСТ 10157-79 вищого або першого сорту.

Приварювання ребер до корпусу виконано роботизованим зварюванням в середовищі захисних газів, використовуючи зварювальний дріт Св-08Г2С і суміш захисних газів: 75% аргону + 25% вуглекислого газу. Зварювальний дріт СВ-08Г2С призначений для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей типу Ст3, Ст20, Ст35сп, Ст4 , 15ГС, 20ГСЛ, 09 М2С, 16ГС у вуглекислому газі , газових сумішах і під флюсом. ГОСТ 2246-70. Хімічний склад дроту вказано в таблиці 2.3.[10].

Таблиця 2.6 - Хімічний склад дроту СВ-08Г2С [8]

Хімічний елемент	С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Вміст елементів у %	0,10	1,70-2,20	0,60-0,85	0,20	0,25	0,025	0,030

При зварюванні в середовищі вуглекислого газу частина вуглекислого газу при високій температурі в стовпі дуги дисоціює з утворенням оксиду вуглецю і вільного кисню відповідно рівнянню (2.1) .



Гази взаємодіють з розплавленим металом, окислюючи окремі його компоненти . При зварюванні низько вуглецевої сталі спостерігаються значні втрати марганцю і кремнію. Окислення розплавленого металу відбувається у відповідності з рівнянням (2.2) .



Оксид заліза вступає в реакцію з марганцем і кремнієм , утворюючи сполуки  $MnO$  і  $SiO_2$  , які піднімаються на поверхню розплавленого матеріалу (2.3), (2.4) .



В зв'язку з цим для зварювання в вуглекислому газі вуглецевих конструкційних сталей використовують дріт СВ-08Г2С по ГОСТ 2246-76 , легований кремнієм і марганцем [5].

Для захисту зварювальної дуги і зварювальної ванни застосовано аргон і вуглекислий газ. Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), немає кольору і запаху. Одержують його з газоподібних продуктів згоряння антрациту або коксу, при випалі вапняку й т.д. Поставляється в зрідженому стані в балонах типу А місткістю 40 л, у який при максимальному тиску 7,5 МПа вміщається 25 кг вуглекислоти (при випарі утвориться близько 12 750 л газу). Для зварювання використовують зварювальну вуглекислоту. Чистота вуглекислоти першого сорту повинна бути не менш 99,5 %, а вищого - 99,8 %. Балони з вуглекислотою фарбують у чорні кольори з жовтим написом «CO<sub>2</sub> зварювальний». Застосовується при зварюванні низьковуглецевих і деяких конструкційних і спеціальних сталей [9]. Наплавку кільця виконували автоматичним наплавленням порошковим дротом ПП-АН133 під шаром флюсу АН-26П (табл. 2.7).

Порошковий дріт ПП-АН133 ТУ ИЭС 364-83 для наплавлення під флюсом і в захисних газах деталей, що працюють в корозійних середовищах в умовах тертя металу об метал при температурі до 540 °С і високих питомих тисках. Об'єкти наплавлення: деталі арматури теплових і атомних електростанцій, нафтохімічне обладнання, волочильні барабани і пр. Твердість HRC 28-35.

Таблиця 2.7. - Хімічний склад порошковий дріт ПП-АН133 [12]

Хімічний елемент	C	Mn	Si	Mo	Ni	Ti	Cr	S	P
Вміст елемента, %	0,07	1,2	5,3	-	9,2	0,14	17,6	0,04	0,04

Флюс АН-26П ГОСТ 9087-81 для механізованого дугового зварювання корозійно-стійких і жароміцних хромо-нікелевих сталей із застосуванням відповідних електродних дротів (табл. 2.5).

Технологічні властивості: стійкість дуги задовільна, розривна довжина дуги до 7 мм, формування шва хороше, схильність до утворення пір і тріщин низька, відділення шлакової кірки хороша, при зварюванні корневих швів в обробленні задовільна.

Таблиця 2.8. - Хімічний склад флюсу АН-26П [12]

Хімічний елемент	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	C	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P
Вміст елемента у %	29-33	2,5-4,0	4-8	15-18	19-23	20-24	<0,05	<1,5	<0,08	<0,08

Металургійні властивості: низькокремнистий низькомарганцовистий солеоксидний флюс з хімічною активністю  $A_{\phi} = 0,45-0,5$ . При роботизованому зварюванні хромо-нікелевих сталей під флюсом інтенсивно протікають кремне-відновні процеси. В результаті наплавлений метал в значній мірі збагачений дрібнодисперсними оксидними включеннями. Вміст кисню в металі шва становить 0,08-0,10%. Тому флюс не рекомендується для зварювання сталей товщиною більше 40 мм. У поєднанні з флюсом не рекомендується використання зварювального дроту з вмістом фериту менше 4%, щоб уникнути утворення пор і тріщин, особливо при зварюванні жорстких конструкцій.

#### 2.4 Розрахунок параметрів режимів зварювання

Правильний вибір режимів зварювання відіграє вирішальну роль при формуванні зварного з'єднання та його подальшої експлуатаційної надійності. Оскільки причини виникнення майже всіх технологічних дефектів – це неправильний підбір зварювальних режимів.

Режимом зварювання називається сукупність характеристик зварювальних процесів, що забезпечують отримання зварних з'єднань заданих розмірів, форми і якості.

Розрахунок режимів зварювання для стикового з'єднання, виконаного автоматичним зварюванням під шаром флюсу (рис. 2.10).

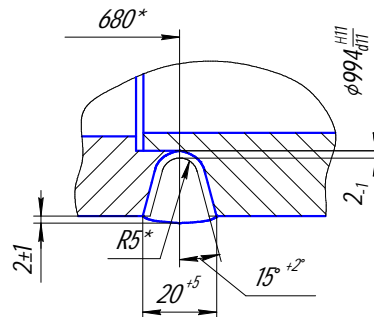


Рисунок 2.10 – Схема стикового зварного з'єднання С20, шов №3,4

1) Розрахунок зварювального струму  $I_{зв}$ , А при зварюванні здійснюється за формулою (2.5) :

$$I_{зв} = H/K_n \quad (2.5)$$

де  $H$  – глибина провару, визначається по формулі (2.6),  $K_n$  – коефіцієнт пропорційності, який рівний 1,75.

$$H = 0,0155 \sqrt{\frac{gn}{\phi_{np}}} \quad (2.6)$$

де  $gn$  - погонна енергія, визначається із формули (2.7),  $\phi_{np}$  - коефіцієнт форми провару, що рівний 1,1.

$$H = 14500 \cdot F_n \quad (2.7)$$

де  $F_n$  – площа поперечного січення наплавленого металу шва,  $\text{см}^2$ . Розрахунок шва № 3,4 виконувався у графічній програмі КОМПАС і становить  $2,26 \text{ см}^2$ .

$$gn = 14500 \cdot 2,26 = 32770 \text{ кДж} ;$$

$$H = 0,0155 \sqrt{\frac{32770}{1,1}} = 653,4$$

$$I_{зв} = 653,4/1,75 = 373,4 \text{ А.}$$

Приймаємо що зварювальний струм дорівнює 370 А.

2) Визначаємо діаметр електродного дроту за формулою (2.8) :



$$de = 1,13 \sqrt{\frac{I_{33}}{\gamma}} \quad (2.8)$$

де  $\gamma$  - густина струму в електродному дроті А/мм<sup>2</sup> (для зварювання під шаром флюсу  $\gamma = 35 - 60$  А/мм<sup>2</sup>);

$$de = 1,13 \sqrt{\frac{370}{45}} = 3 \text{ мм}$$

3) Визначаємо напругу на дузі.

Напруга на дузі  $U_{\text{д,В}}$  визначається наступною формулою(2.9) :

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \quad (2.9)$$

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{3} = 21 \text{ В}$$

4) Знаходимо швидкість зварювання  $V_{33}$ , м/год, за формулою (2.10):

$$V_{33} = \frac{A}{I_{33}} \quad (2.10)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який вибирають в наступних межах таблиця 2.9;

Таблиця 2.9 – залежність коефіцієнта  $A$  від діаметру електроду [14]

<b>de, мм</b>	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
<b>A, А·м/год</b>	(8 - 12)×10 <sup>3</sup>	(12- 16)×10 <sup>3</sup>	(16- 20)×10 <sup>3</sup>	(20- 25)×10 <sup>3</sup>	(25- 30)×10 <sup>3</sup>

$$V_{33} = \frac{1,2 \cdot 10^3}{370} = 29 \text{ м/год}$$

5) Визначаємо швидкість подачі електродного дроту .

Швидкість подачі електр одного дроту  $V_{\text{н.др}}, \text{ м/год}$  визначається за наступною формулою (2.11) .

$$v_{\text{н.др}} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{33}}{\pi \cdot d_{\text{др}} \cdot 7,8} \quad (2.11)$$

де  $\alpha_p$  – коефіцієнт розплавлення дроту, г/А· год ;  $\rho$  – густина металу електродного дроту , г/см<sup>3</sup> (для сталі  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>) .

Значення  $\alpha_p$  розраховується по формулі (2.12) :

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_z}{d_e}; \quad (2.12)$$

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{450}{3} = 15 \text{ г/Агод}$$

$$v_{n.op} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 450}{3,14 \cdot 3 \cdot 7,8} = 80,2 \text{ м/год}$$

Розрахунок режимів зварювання при приварюванні ребер до корпусу засувки. Це таврове з'єднання, зварювання проводимо в середовищі захисного газу (рис. 2.11).

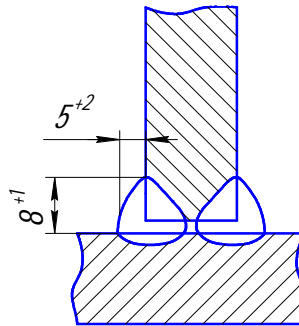


Рисунок 2.11 – Схема таврового зварного з'єднання ТЗ

1) Вибираємо катет кутового з'єднання .

В даному випадку катет з'єднання дорівнює  $K=8$ мм.

2) Визначаємо силу, рід і полярність зварювального струму .

2.1) Зварювання в суміші газів  $CO_2+Ar$  проводять на постійному струмі зворотної полярності, тому що при прямій полярності процес зварювання характеризується великим розбризкуванням , навіть при зварюванні на значно малому струмі. Це призводить до зменшення глибини провару. Крім того зварювання на прямій полярності призводить до збільшення окислення елементів і підвищеною схильністю до поро утворення.

2.2) Розрахунок зварювального струму  $I_z$ , А, при зварюванні дротом суцільного перетину здійснюється за формулою (2.13):

$$I_{з} = \frac{\pi d_e^2 a}{4} \quad (2.13)$$

де  $a$  – густина струму в електродному дроті, А/мм<sup>2</sup> (при зварюванні в вуглекислому газі  $a = 110 \div 130$  А/мм<sup>2</sup>;  $d_e$  – діаметр електродного дроту, мм.

Роботизовані способи зварювання дозволяють застосовувати значно більші густини струму в порівнянні з ручним зварюванням. Це досягається меншою довжиною вильоту електрода. Для того, щоб розрахувати силу зварювального струму потрібно знайти діаметр електродного дроту.[9]

В основу вибору діаметра електродного дроту покладені ті ж принципи, що й при виборі діаметра електрода при ручному дуговому зварюванні, які визначають залежно від товщини металу. Діаметр дроту вибирається із таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Залежність діаметру електродного дроту від товщини металу

Товщина металу, мм	1- 2	3-6	6-24 і більше
Діаметр електродного дроту $d_e$ , мм	0,8-1,0	1,2-1,6	2,0

Таким чином , діаметр електродного дроту становить  $d_e = 1,6$ мм.

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 130}{4} = 340 \text{ A}$$

3) Визначаємо напругу на дузі .

Напругу на дузі  $U_{\partial, B}$  визначали за наступною формулою (2.14) .

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} I_{зв} \pm 1 \quad (2.14)$$

де  $I_{зв}$ -сила зварювального струму, А,

$d_e$  – діаметр зварювального дроту, мм .

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 340 = 34 \text{ B}$$

4) Визначаємо швидкість подачі електродного дроту .

Швидкість подачі електродного дроту  $V_{n.dp}, м/год$  визначається за наступною формулою (2.15).

$$V_{n.dp} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{dp} \cdot 7,8} \quad (2.15)$$

де  $\alpha_p$  – коефіцієнт розплавлювання дроту, г/А·год ;  $\rho$  – густина металу електродного дроту , г/см<sup>3</sup> (для сталі  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>) .

Значення  $\alpha_p$  розраховується по формулі (2.16):

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_3}{d_e} ; \quad (2.16)$$

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{340}{1,2} = 10,62 \text{ г/Агод}$$

$$V_{n.dp} = \frac{4 \cdot 10,6 \cdot 320}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 7,8} = 15 \text{ м/год}$$

5) Визначимо швидкість зварювання .

Швидкість зварювання  $V_з$ , м/год , розраховується по формулі (2.17) :

$$V_з = \frac{\alpha_n \cdot I_3}{100 \cdot F \cdot \rho} ; \quad (2.17)$$

де  $\alpha_n$  - коефіцієнт наплавлення, г/А год;  $\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi)$  , де  $\Psi$  – коефіцієнт втрат металу на угар и розбризування. При зварюванні в середовищі вуглекислого газу  $\Psi = 0,1 - 0,15\%$ ;  $F$  - площа поперечного перерізу наплавленого металу.

$$\alpha_n = 22,2 \cdot (1 - 0,1) = 19,54 \text{ г/Агод}$$

6) Визначаємо площу поперечного перерізу наплавленого металу  $F$  , мм<sup>2</sup> .

Площу поперечного перерізу наплавленого металу розраховали за формулою (2.18) :

$$F = k_y \cdot k^2 / 2 \quad (2.18)$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу наплавленого металу ,  $K_y$  - коефіцієнт збільшення , який враховує наявність зазорів і випуклості ,  $K$  - катет шва .

Звідси  $K_y$  вибираємо залежно від катету шва  $K_y=1,25$ .

$$F = 1,25 \cdot 8^2 / 2 = 38,4 \text{ мм}^2$$

Звідси , знайдемо швидкість зварювання :

$$V_{зв} = \frac{19,54 \cdot 340}{100 \cdot 0,38 \cdot 7,8} = 22,4 \text{ м/год}$$

7) Маса наплавленого металу.

Маса наплавленого металу  $G_n$ , г, при зварюванні розраховується по наступній формулі (2.19) :

$$G_n = F \cdot l \cdot \rho \quad (2.19)$$

де  $l$  – довжина шва, вона рівна 240 мм ;  $\rho$  – густина наплавленого металу (для сталі  $\rho=7,8 \text{ г/см}^3$ );

$$G_n = 0,38 \cdot 240 \cdot 7,8 = 711 \text{ г}$$

8) Визначаємо розхід вуглекислого газу .

Кількість витраченого газу значній мірі впливає на якість зварного шва. Кількість витрати газу залежить від режиму зварювання та форми і розміру зварювального виробу. Зі збільшенням витрати газу зменшуються значення коефіцієнтів наплавлення та розплавлення. Оскільки стовп дуги охолоджується вуглекислим газом, що поступає в зону зварювання. В даному випадку при зварюванні силою струму 340 А розхід становить 17 л/хв. Залежність витрати газу від сили струму вибираємо з таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Залежність витрати газу від сили зварювального струму [1]

<b>Сила зварювального струму, А</b>	50÷60	90÷100	150 ÷160	220÷240	280÷300	360÷380	430÷450
<b>Напруга дуги,</b>	17-28	19-20	21-	25-27	28-30	30-32	32-34

<b>В</b>			22				
<b>Витрата газу, л/хв</b>	8-10	8-10	9-10	15-16	15-16	18-20	18-20

9) Визначаємо виліт електродного дроту .

В даному випадку виліт електроду визначається виходячи із катету шва, для ношого випадку він рівний 2 – 2,5см.

10) Визначаємо час горіння дуги.

Час горіння дуги  $t_0$  , год , визначається по формулі:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_3 \cdot \alpha_n} ; \quad (2.20)$$

$$t_0 = \frac{711}{340 \cdot 19.54} = 0.1 \text{ год.}$$

11) Визначаємо повний час зварювання :

Повний час зварювання  $T$  , год, визначається по формулі (2.21):

$$T = \frac{t_0}{k_n} ; \quad (2.21)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт використання зварювального поста

$$T = \frac{0.1 \cdot 2}{0.57} = 0.37 \text{ год}$$

( $k_n = 0,6 \div 0,57$ ).

12) Визначаємо витрату електродного дроту

Витрата електродного дроту  $G_\delta$  , г, розраховується по формулі (2.22) :

$$G_\delta = G_H \cdot (1 + \psi) ; \quad (2.22)$$

де  $G_H$  – маса наплавленого металу, г;  $\Psi$  – коефіцієнт втрат, ( $\Psi = 0,1 - 0,15$ ).

$$G_\delta = 711 \cdot (1 + 0,1) = 782,1 \text{ г}$$

13) Визначаємо витрату електроенергії .

Витрата електроенергії  $A$  , кВт· год, визначається по формулі ( 2.23):

$$A = \frac{U_d \cdot I_s}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0) ; \quad (2.23)$$

де  $U_d$  – напруга дуги, В;  $\eta$  – КПД джерела живлення: при постійному струмі 0,6÷0,7, при змінному 0,8÷ 0,9;  $W_0$  – потужність джерела живлення, що працює на холостому ході, кВт. На постійному струмі  $W_0 = 2,0 \div 3,0$  кВт, на змінному –  $W_0 = 0,2 \div 0,4$  кВт.

$$A = \frac{34 \cdot 340}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,2 + 3,0 \cdot (0,37 - 0,2) = 3,81 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Перед початком зварювання необхідно відрегулювати витрату газу й почекати 20-30 секунд до повного видалення повітря зі шлангів. Перед запалюванням дуги необхідно стежити, щоб виліт електрода з мундштука не перевищував 20 — 25 мм. Зварювання в нижнім положенні виробляються з нахилом пальника під кутом 5 — 15° уперед або назад. Переважніше вести зварювання кутом назад, тому що при цьому забезпечується більше надійний захист зварювальної ванни. Зварювання ведуть на максимальній довжині дуги, з максимальною швидкістю. При достатньому газовому захисті уникають пропалів і забезпечують нормальне формування шва. Пальник ведуть кутом назад, при цьому кут нахилу становить 30-45°.

Параметри режимів автоматичного і напівавтоматичного зварювання були розраховані аналітичним методом. Крім аналітичного методу визначення режимів зварювання існують також табличний і графічний методи.

Аналітичний метод визначення режиму зварювання побудований на математичних моделях процесів зварювання плавленням. методики розрахунку режимів дугового зварювання покритими електродами, в захисних газах і під флюсом, а також електрошлакового зварювання, які приведені разом з прикладами розрахунків у методичних вказівках [1].

Табличний метод найбільш поширений. Він охоплює всі способи зварювання і матеріали, що зварюють. Інформацію для цього методу отримують,

як правило, експериментальним шляхом і приводять в таблицях різних літературних джерел.

Графічний метод дозволяє визначити параметри режиму за номограмами, але вони охоплюють незначну кількість зварюваних матеріалів і способів їх зварювання.

Тому ми вирішили режими аргонодугового зварювання швів №5,6 (таблиця 2.9) і режими наплавки (таблиця 2.10) та розрахувати табличним методом, оскільки на виробництві перш ніж запускати виріб у виробництво запускається дослідний взірець і на ньому відпрацьовуються і відкоректовуються розраховані режими.

Таблиця 2.9 – Параметри режиму аргоно-дугового зварювання

Параметр	Значення	
Номінальна товщина, мм	до 6	Більше 6
Діаметр електрода, мм	3,0-3,2	3,0-3,2
Діаметр присадкового дроту, мм	2,0-3,0	2,0-3,0
Зварювальний струм на корінному валику, мм	70-100	80-110
Зварювальний струм на заповненні шва, мм	80-110	120-160
Розхід аргону, л/год	8-10	15-16

Таблиця 2.10 – Параметри режиму автоматичної наплавки під шаром флюсу

Марка наплавочного матеріала	Діаметр, мм мм	Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість наплавки, м/год	Швидкість подачі зв. дроту, м/год	Виліт дроту, мм	Вид наплавки	Твердість HRC
ПП-АН-133 Флюс АН-26П	3,4	300	33	22	123	20	Багатошарова (4 шари)	30-42 40-52



### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Вибір основного зварювального обладнання

Вибір основного зварювального обладнання залежить від способу зварювання і від режимів зварювання, а також враховуються техніко- економічна ефективність вибраного обладнання.

Основні компоненти складаються з:

- АВВ IRB1400 6-осьова шарнірна роботизована рука.
- Контролер робота АВВ S4С.
- Камера AVT Marlin F-046C CCD.
- Багатопроцесорний блок живлення Fronius TransPulsSynergic 4000.
- Пристрій подачі дроту Fronius VR 4000.
- Ліхтарик Fronius Robacta 500 push-pull.
- Інтерфейс введення/виведення Fronius Rob 5000.
- ПК, Windows, адаптер Ethernet, послідовний порт.
- Збір даних про зварювання та система диспетчерського контролю.

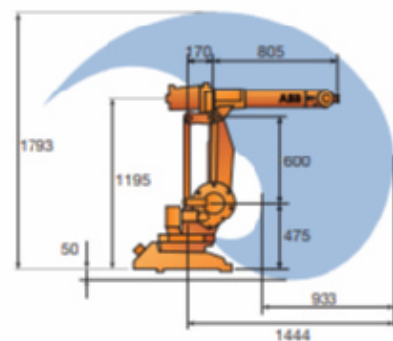
Додаткові відомості про компоненти клітини наведені нижче.

*Робот АВВ IRB1400.*

Робот АВВ IRB1400, який використовується в цій роботі, є звичайним 6-осьовим шарнірним роботом рука. На рис. 3.1 показано осі руху робота IRB1400 (див. розділ додатку 10.1 для детальних характеристик робота).



а



б

Рис. 3.1. АВВ IRB1400

- 6-осьовий промисловий робот ABB IRB1400 з радіусом дії 1,5 м та вантажопідйомністю 6 кг;
- контролер S4 версії M94A, програмне забезпечення для зварювання включено
- позиціонер, керований за допомогою подвійного сервоприводу і функціонуючий як 7 вісь робота;

Такий позиціонер може застосовуватися для вирішення виробничих завдань, що вимагають наявності двох станцій: вантажно-розвантажувальної та зварювальної

- і за необхідності обертання деталі навколо своєї осі. Обертання повністю скоординоване з рухами робота, що забезпечує високу якість роботи та максимальну швидкість зварювання. IRBP К підходить для фіксаторів та деталей розміром до 4 000 мм (моделі 500К та 750К);

- 500-амперне зварювальне джерело живлення ESAB;

- пристрій очищення зварювального пальника;

- зварювальний пальник Binzel з системою захисту від зіткнень, зовнішніми шлангами та механізмом подачі дроту;

Додаткові функції дугового зварювання були придбані з робототехнічною системою для налаштування процесу, увімкнення/вимкнення дуги, вигорання дроту та зварювання. Це, зокрема, комунікаційне обладнання для контролера робота, який у поєднанні із запатентованими можливостями програмного забезпечення, забезпечує дистанційне керування, онлайн-контроль процесів та автономне програмування робота.



а



б

Рис. 3.2. Контролер робота ABB S4C і підвіска для навчання

На рис. 3.3 зображено контролер робота ABB S4C і пульт керування. Робот може бути запрограмовани онлайн за допомогою пульта, або офлайн за допомогою ПК. Створену програму роботи, згодом завантажують на контролер робота.

#### *Цифрова камера*

Для зйомки відео в реальному часі та фотографування використано встановлену на палиник камеру CCD та програмне забезпечення для ідентифікації пошкоджень і відслідковування траєкторії зварювання зварювання.

Оскільки камеру встановлено на палиник, положення камери можна визначити та коригувати відносно координат TCP (Tool Center Point). Це дозволяє калібрувати дані захопленого зображення. Експериментальна роботизована зварювальна камера CCD AVT Marlin F-046C.



Рис. 3.3. Камера CCD AVT Marlin F-046C.

Використана кольорова камера CCD має з'єднання IEEE-1394 (FireWire) з ПК, та підтримує високу швидкість передачі даних (до 400 Мбіт/с). Живлення подається на камеру через 6-контактний кабель FireWire, що є перевагою, оскільки додаткові кабелі підключені до зварювального палиника (та/або допоміжного обладнання) збільшили б вагу та моглиб негативно вплинути зменшення точності позиціонування. Використано об'єктив із фокусною відстанню C-mount 12 мм, об'єктив із діафрагмою 16-1,4 і діапазоном фокусування 0,3-∞ м.

#### *Зварювальна система*

Використано зварювальну систему, що містила багатопроцесорний блок живлення Fronius TransPulsSynergic 4000, пристрій подачі дроту Fronius VR 4000, встановлений у верхній частині, і пальник Robacta 500 з водяним охолодженням.



а



б

Рис. 3.4. Багатопроцесорний блок живлення Fronius TransPulsSynergic 4000

На рис. показано газовий пальник який має широке поширення, завдяки його функціональності при зварюванні у різних положеннях.

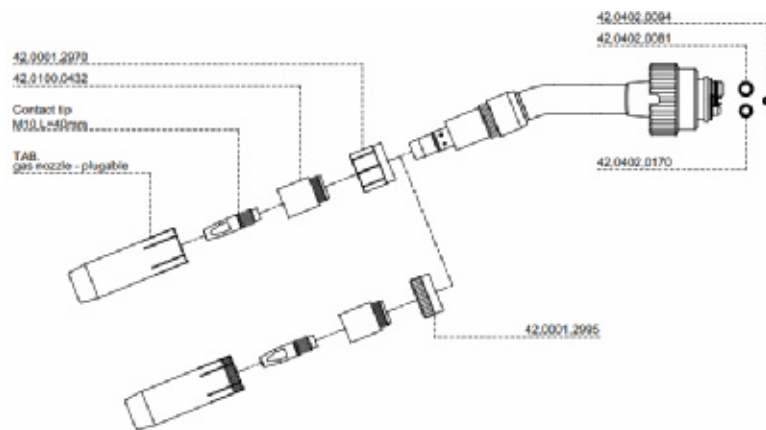


Рис. 3.5. Пальник Robacta 500 з водяним охолодженням

Багатопроцесорне джерело живлення Fronius TransPulsSynergic 4000 і пристрій подачі дроту Fronius VR 4000 показано на рис. 3.5. Блок живлення з'єднано з роботом за допомогою стандартного інтерфейсу вводу/виводу Fronius

Rob 5000, який поєднано із кількома попередньо скомпільованими виконавчими програмами.



Рис. 3.6. Пристрій подачі дроту Fronius VR 4000.

Незважаючи на те, що комплект розробки програмного забезпечення (SDK) не був включений до обладнання (підкреслюючи «закриту структуру» систем, що постачаються постачальниками, про яку йшлося вище) надані програмні засоби є корисними. Коротку характеристику відповідних програм наведено нижче.

Програма WinRCU (пристрій віддаленого керування Windows) (екран, з якого показано на рис. 3.7) дозволяє працювати з передньою панеллю джерела живлення через ПК. Можна встановити такі параметри, як швидкість подачі дроту, напруга, індуктивність тощо, саме через цю програму. Програма Robot Visualize (екран, показаний на рис 3.7) відображає стан живлення та параметри зварювання.





Рис. 3.7 Блок віддаленого керування Windows (WinRCU).

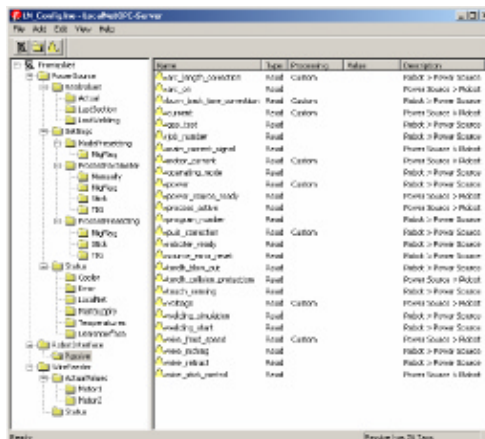


Рис. 3.8 Сервер LocalNetOPC.

Програма LocalNetOPC Server може контролювати та реєструвати середні значення параметрів зварювання при 10 Гц. Тестова система складалася з ряду комерційних модулів, але це було необхідно розробити комунікаційні інтерфейси, щоб дозволити різним компонентам системи взаємодіяти. Фізичне з'єднання контролера робота/блока живлення та зварювального елемента діаграму якого показано нижче.

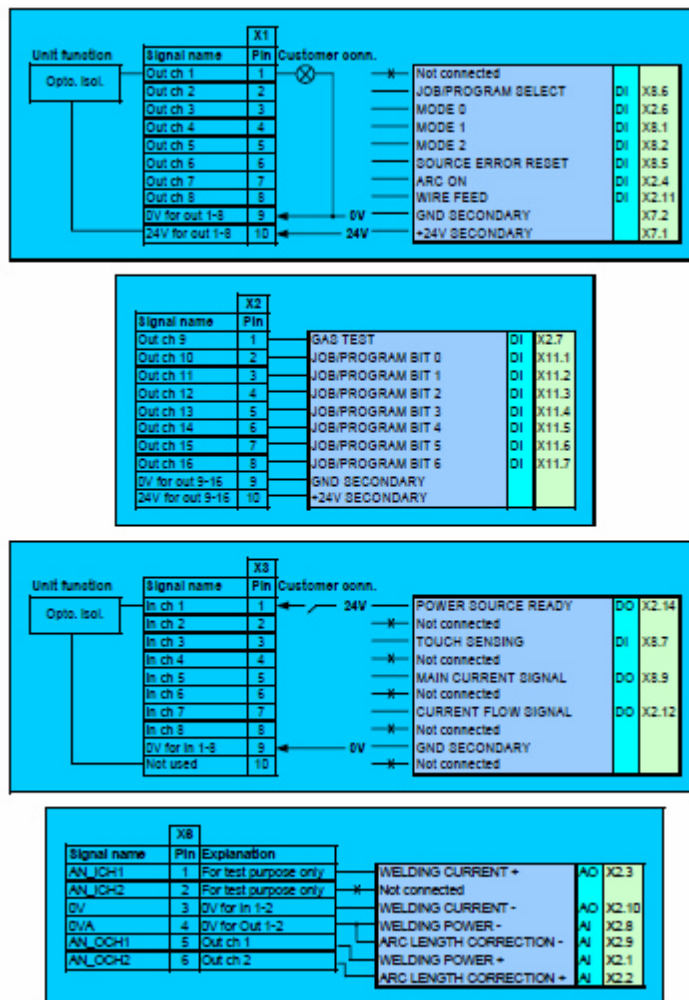


Рис. 3.9. З'єднання контролера робота/блока живлення та зварювального елемента

Додавання різача дроту дає роботизованим зварювальним операціям засоби для обрізання зварювального дроту до потрібного виступу та забезпечує чистий зріз для більш плавного запуску дуги.

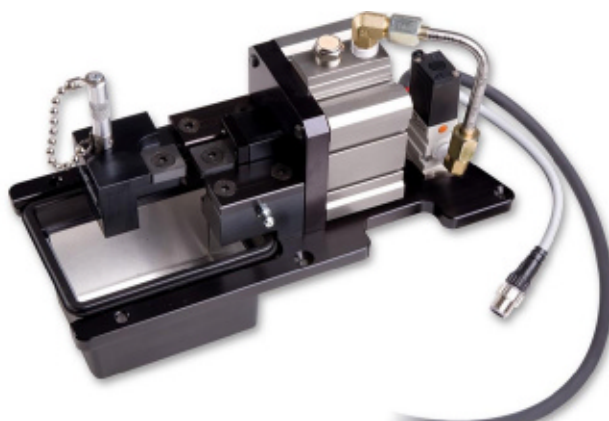


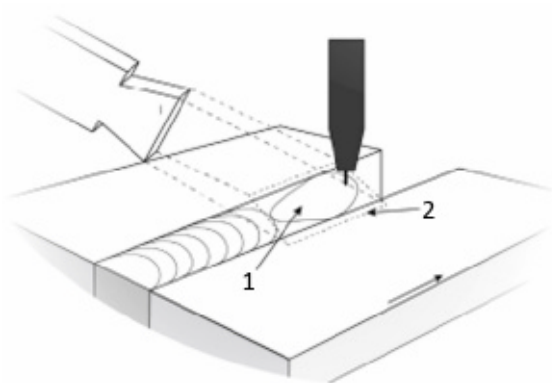
Рис. 3.10. Обрізувач дроту

### 3.2. Контроль якості зварного шва

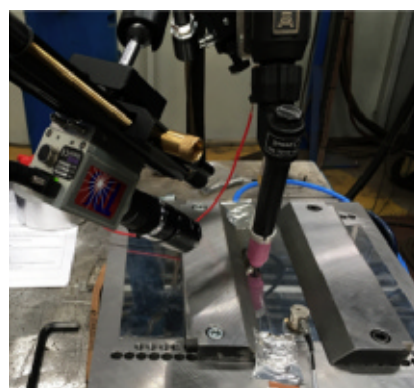
Якість - це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти потреби відповідно до її призначення. Це категорія відносна й комплексна. Вимоги, пропоновані до виробів різного призначення, не можуть бути однаковими. Якість зварних з'єднань оцінюється сукупністю показників: міцністю, пластичністю, корозійною стійкістю, структурою металу шва й околосшовної зони, числом дефектів, числом і характером виправлень, імовірністю безвідмовної роботи за заданий час і т.д. [10].

#### *Оптичний контроль*

Камера встановлюється на робота, на якому закріплено зварювальний пальник під кутом  $45^\circ$  відносно напрямку зварювання, як показано схематично на рис. 3.10, або реальна установка на рис. 3.11. Позичонування полегшує захоплення зварювальної ванни та зони безпосередньо в ній, що покращує якість відеозйомки.



а



б

Рис. 3.10. Відеоконтроль процесу зварювання: 1 - зварювальна ванна; 2 - захоплений кадр



Усі зображення отримано з камери Xiris XVC-1000, яка має динамічний діапазон 140 дБ+. Камера може поглинати достатньо світла, щоб збільшити яскравість області навколо дуги, уникаючи надмірного засвічення дуги.

### *Лазерне сканування*

Лазерне сканування дозволяє в реальному часі відстежувати положення з'єднань при товщині матеріалу менше 1 мм або ширині зазору менше 1 мм. Лазерний сенсор встановлюється на маніпуляторі робота приблизно за 3 сантиметри перед зварювальним пальником. Діод спрямовує на деталь лазерний промінь, а камера аналізує форму з'єднання на основі спотворень цього променя. Після цього програмне забезпечення камери відправляє роботу інформацію про зазор і відхилення припасування. Ці дані дозволяють роботу скоригувати положення пальника, швидкість зварювання, амплітуду поперечних коливань, напругу та силу зварювального струму або інші параметри зварювання. Лазерні системи ніяк не позначаються на швидкості зварювання, тому ви зможете досягти швидкості до 250 см/хв. Так як у лазері використовується лише одна довжина хвилі, він не схильний до перешкод від сторонніх джерел освітлення.



а



б

Рис. 3.11. Лазерне сканування шва

Спеціальні алгоритми ПЗ дозволяють прибрати шум і використовувати лазер для сканування навіть з таких блискучих поверхонь, як алюміній і нержавіюча сталь. Перехід із аналогової на цифрову технологію значно розширив можливості лазерного відстеження. Зокрема, це дозволило збільшити кут огляду та зробити сигнал чіткішим. У порівнянні з аналоговими моделями,

цифрові давачи приблизно в 4 рази точніші і мають більш високу швидкість сканування. Одним із основних недоліків лазерних систем є їх вартість.

Отже, можливо збільшити якість та відтворюваність роботи будь-якого зварювального робота за рахунок таких систем як, TAST, контактне впізнання, 2D або лазерного сканування.

### **3.3. Методи контролю якості зварних з'єднань**

По впливу на матеріал або виріб методи контролю ділять на руйнівні контроль (РК) і неруйнівні контроль (НРК). До руйнівних методів контролю відносять механічні випробування, металографію, корозійні випробування, технологічні проби на зварюваність і ін. РК звичайно дає можливість одержати кількісні характеристики якості з'єднання (наприклад, міцність з'єднання на розтягання) і точно визначити вид (природу) дефекту. Недоліком РК є те, що випробування проводяться на зразках-свідках, моделях, рідше на готових виробах, але не на тих об'єктах, які надалі застосовуються в експлуатації. Для забезпечення вірогідності випробувань кількість зразків повинна бути досить великим. При цьому витрачається велика кількість матеріалів, виготовлення зразків вимагає трудомісткої механічної обробки.[10]

НРК здійснюється на виробах, призначених до експлуатації. При цьому оцінюються лише властивості, що побічно характеризують якість звареного з'єднання, наприклад наявність неоднорідностей у зварному шві. Для встановлення зв'язку між результатами НРК і експлуатаційною надійністю виробу й для точного визначення виду дефекту потрібні додаткові дослідження. Достоїнства НРК: випробування проводяться на самих виробах і на небезпечних ділянках, можна контролювати будь-який виріб з партії, навіть всі, якщо це потрібно, можна проводити контроль під час експлуатації виробу без припинення його роботи, у тому числі неодноразово. У порівнянні із РК заощаджуються матеріали й витрати праці на підготовку й проведення випробувань.[35]

Методи НРК підрозділяються на наступні види: акустичні, вихретокові, магнітні, оптичні проникаючими речовинами (капілярні та течешукачем), радіаційні, радіохвильові, теплові, електричні. При контролі зварних з'єднань частіше застосовуються чотири методи: радіаційного, акустичного, магнітного й випробування проникаючими речовинами.

До неруйнівних методів близькі так звані безразкові випробування, що супроводжуються невеликими порушеннями цілісності матеріалу, але не виробу в цілому (наприклад, вимір твердості), зовнішній огляд, а також контроль параметрів процесу зварювання.

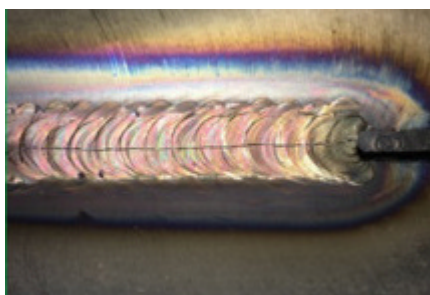
Три методи неруйнівного контролю – візуальний, радіографічний (Rk) і кольорову (КД) дефектоскопію. Вибір того чи іншого методу контролю якості залежить від відповідальності об'єкта і де він встановлюється. Якщо об'єкт відповідальний, то проводять комплексний контроль якості зварного виробу. В даному випадку затвор працює на трубопроводах АЕС систем нормальної експлуатації і систем безпеки з метою запобігання зворотного потоку робочого середовища і тому візуальний в поєднанні з радіографічним контролем і кольоровою дефектоскопією проводяться в повному об'ємі 100%.

Візуальний контроль здійснюється з метою виявлення деформацій, явних пошкоджень тіла (рисок, тріщин, отворів, раковин, слідів корозії, розшарування металу тощо) та зовнішніх дефектів зварних швів (непровари, поверхневі тріщини довільної орієнтації, подрізи і напливи, не заварені кратери, свищі, не заварені пропалини в металі шва). Контроль здійснюється за ДСТУ ISO 17637: 2003. Під час візуального контролю визначаються також сумнівні ділянки деталей, що викликають підозру щодо наявності дефекту. Сумнівні ділянки позначаються (обводяться) крейдою і потім контролюються неруйнівними методами. Зовнішнім оглядом перевіряють якість підготування і збирання заготовок під зварювання, якість виконання зварних швів в процесі зварювання і якість готових зварних з'єднань. Зазвичай зовнішнім оглядом контролюють всі зварні з'єднання незалежно від застосування інших видів контролю. Зовнішній огляд у

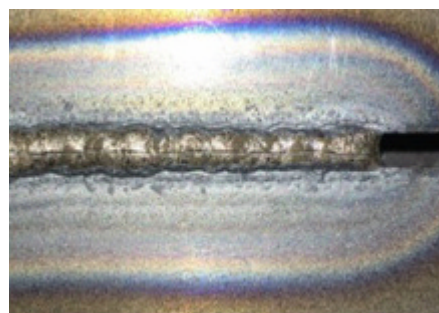
всіх випадках достатньо інформативний і є найбільш дешевим і оперативним методом контролю.

### *Візуальний метод контролю*

Візуальний контроль з використанням оптичних приладів називають візуально-оптичним. Контроль оснований на використанні явища відбивання видимого світла від досліджуваного об'єкта. Контроль проводиться шляхом огляду деталей і виробів в видимому світлі. Простота контролю, нескладне обладнання, порівняно мала трудоемкість – основні переваги даного методу.



а



б

Рис. 3.12. Зображення тріщин у швах виконаних за роботизованого зварювання

В зв'язку з тим, що із зростанням збільшення оптичних приладів суттєво зменшується поле зору і глибина різкості, а також знижується продуктивність контролю, використовують оптичні прилади із збільшенням не більше 20-30.

По виду приймача променевої енергії розрізняють три групи оптичних приладів: візуальні, детекторні і комбіновані. У візуальних приладів приймач – око. Візуальні прилади, які в основному використовуються для візуально-оптичного контролю, в свою чергу підрозділяються по призначенню на три групи:

1) прилади для контролю дрібних, близько розміщених об'єктів, які знаходяться від ока контролера на відстані найкращого бачення – 250 мм (лупи, мікроскопи);

2) прилади для контролю віддалених об'єктів, тобто розміщених далі 250 мм (телескопічні лупи, оглядові труби, біноклі, телевізійні системи контролю);

3) прилади для контролю скритих об'єктів – внутрішніх поверхонь отворів, порожнистих виробів і конструкцій (ендоскопи, бароскопи, перископічні дефектоскопи і ін).

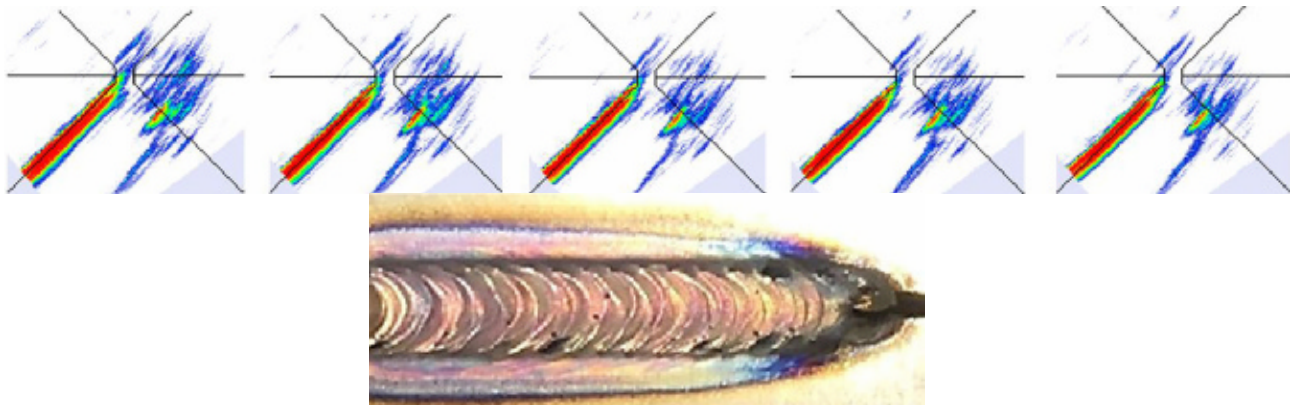


Рис. 3.13. Картини контролю цілісності зварного шва методом УЗ контролю, дискретно, протягом 20 годин. Встановлено, що шов бездефектний.

### 3.4. Дефекти зварних з'єднань

До дефектів зварених з'єднань відносяться різні відхилення від установлених норм і технічних вимог, які зменшують міцність і експлуатаційну витривалість.

Найбільше часто дефекти, що зустрічаються можна розділити на наступні мікроструктури; деформації й жолоблення; зварних конструкцій. Дефекти форми й розмірів зварних швів. Звичайно форма й розміри швів встановлюються стандартами, правилами й нормами, технічними умовами й вказуються на робочих кресленнях. [14]

При зварюванні плавленням найбільш частими дефектами зварних з'єднань є неповно мірність шва, нерівномірність його ширина й висота, велика зернистість, бугристість, наявність сідловин. При автоматичному зварюванні дефекти виникають внаслідок коливання напруги в мережі, проковзування дроту в роликах, що подають, нерівномірній швидкості зварювання через люфти в механізмі пересування, неправильного кута нахилу електрода, протікання рідкого металу в зазор.

#### 4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розвиток комп'ютерних технологій сприяє впровадженню нових методів у технічній діагностиці. Наприклад, можливість представляти процеси за допомогою зображень, одержаних методами скануючої електронної мікроскопії та отримувати результати, аналізуючи їх морфологію. З однієї сторони, ці зображення увійшли до практики технічної діагностики, але з іншого, їх використання зводиться до візуального представлення інформації і передбачає застосування методів сегментації.

Особливості зображень, одержаних методами скануючої електронної мікроскопії і відповуючих їм методів обробки складаються з власне методів сегментації медичних зображень та особливостей, пов'язаних з фізико-механічною природою зображень.

Мікрodefекти відіграють роль концентраторів напружень. Причому інтенсивність напружень, що розтягують, в околі вершини тріщини зростає зі збільшенням швидкості деформування, так як зменшується час на релаксацію і розвиток пластичних деформацій.

Відповідно до теорії тріщин Гріффітса руйнування тіла визначається зростанням єдиної «магістральної» тріщини, що має критичний для цих напруг розмір. Однак при деформуванні за великих швидкостей у зварний шов практично миттєво вноситься настільки велика порція енергії, що починають рости відразу велика кількість мікротріщин. Але з короткочасності імпульсу напружень зростання більшості мікротріщин припиняється, і лише з них переростають у макротріщини, які поділяють шов на частини, тобто спричиняють його руйнування.

Серед таких математичних моделей та теорій все більш важлива роль приділяється аналізу, заснованому на апараті фрактальної геометрії [1-7].

Починаючи з 1980-х років у цій галузі знань прогресує використання уявлень про фрактальні структури. Хоча об'єкти з дрібною геометричною розмірністю в математиці почали вивчати ще на початку ХХ століття, у фізико-хімічних (і, зокрема, матеріалознавчих) дослідженнях вони мало розглядалися.

Оскільки реальні фізичні об'єкти і сигнали, що навіть мають ознаки самоподібності, дуже рідко можуть бути адекватно описані за допомогою лише однієї величини фрактальної розмірності останнім часом набув поширення аналіз, заснований на теорії мультифракталів - неоднорідних фрактальних об'єктів. Поняття мультифракталу надає нові великі можливості для фрактального аналізу складних стохастичних процесів. Ідея мультифрактального аналізу полягає в розкладанні досліджуваної множини зі складною статистикою за множинами однорідних фракталів з чітко вираженою фрактальною розмірністю.

Незважаючи на досить широке застосування математичних методів отримання мультифрактальних характеристик зображень [8-11], до досі практично немає жодного єдиного стабільно відтвореного математичного (і тим паче алгоритмічного) підходу до дослідження фрактальних властивостей, ні загально визнаного уніфікованого програмного забезпечення. Через це відтворення результатів, отриманих одними дослідниками виявляється неможливим для інших. Найчастіше саме ці причини призводять до певного неприйняття дослідниками-матеріалознавцями фрактальних характеристик зображень.

Досить докладно викладено математичний апарат, на основі якого нами було розроблено відповідне програмне забезпечення для обчислення мультифрактальних характеристик (програма Fraculator). Основне вікно користувача наведено на рис. 4.1.

Однією з особливостей даної програми є можливість попередньої обробки зображень, а саме – зміна порога розділення кольорів на чорний та білий, а також перетворення зображення в негативне та/або виділення меж (яке можна побачити на рис. 4.1).

Прийняття програми як певний стандарт сприяє те, що програма достатньо автоматизована (зокрема, попередня обробка дозволяє вказати найбільш прийнятний поріг перетворення кольору, а також автоматично вибрати зумовлений діапазон кривої для розрахунків.

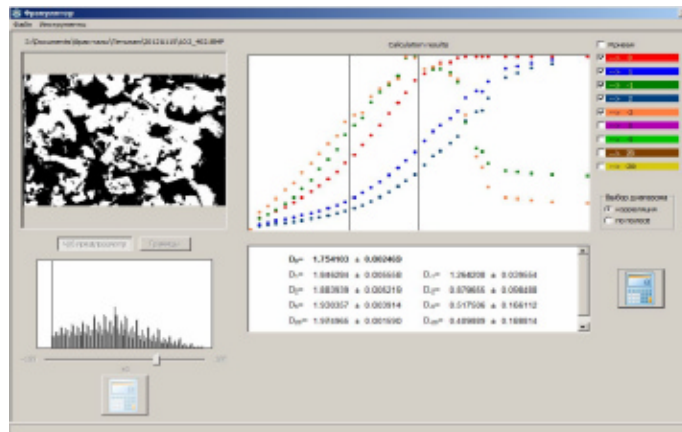


Рис. 4.1. Загальний вигляд головного вікна програми Fraculator

Серед основних характеристик, що використовуються для порівняння та описи мультифракталів, можна виділити хаусдорфову розмірність  $D_0$ , несучу грубу узагальнену інформацію про розмірність простору, в якій сформовано мультифрактал, та його несплошності в цілому.

Показовою величиною є та інформаційна розмірність  $D_1$ , визначається ймовірністю знайти необхідну точку в межах заданого осередку і характеризує ентропію фрактальної множини, або неоднорідність розподілу елементів мультифракталу у просторі.

Ступінь порушеності та питома поверхнева енергія зварних швів визначаються фрактальними характеристиками їх тріщинуватості, які вимірюються для різних умов навантаження за допомогою розробленої методики фіксації координат тріщин способом люмінесцентної дефектоскопії.

Розвиток дефектів, що існують у зварному шві, і зародження нових мікротріщин описуються різними за характером розподілами, мають різну природу і визначаються рівняннями теорії Гріффітса і кінетичної концепції міцності, параметри яких враховують фрактальну розмірність тріщин.

Ефективність автоматизованого фрактального аналізу при динамічному руйнуванні зварних швів оцінюється зростанням концентрації порушень, що активуються, яка визначається розробленою методикою. Встановлені параметри експоненційного розподілу фрактальних розмірів тріщин (рівняння Коші) використовуються для прогнозування ймовірності руйнування зварних швів за різного рівня напружень.



Достовірність наукових положень, висновків та результатів роботи забезпечується використанням апробованих методів фрактальної геометрії, достатнім з погляду статистичних критеріїв обсягом експериментальних досліджень.

## 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 5.1. Результати досліджень ямок відриву

Класифікація фрактальних утворень дозволяє виявити на основі порівняння їх характеристик найбільш суттєві властивості фрактальних об'єктів, які складуть предмет подальшого вивчення. Почнемо з визначення фракталів.

Фракталами називають нескінченно самоподібні фігури, кожен фрагмент яких повторюється при зменшенні масштабу, тобто їх вигляд не зазнає істотних змін при розгляданні їх через мікроскоп із будь-яким збільшенням. Розгалуження трубочок трахей, нейрони, судинна система людини, звивини берегів морів та озер, контури дерев – це все фрактали. Фрактали знаходять у місцях таких малих, як клітинна мембрана, і таких величезних, як зіркові галактики. Можна сміливо сказати, що фрактали – це унікальні об'єкти, породжені непередбачуваними рухами хаотичного світу.

Термін «фрактал» було запроваджено Б. Мандельбротом в 1975 р. Згідно з Мандельбротом, фракталом (від латів. «fractus» – дробовий, ламаний, розбитий) називають структуру, що складається з частин, подібних до цілого. Властивість самоподібності відрізняє фрактали від об'єктів класичної геометрії, яка нездатна описати форму хмари, гори, дерева чи берегової лінії. Хмари не є сферами, гори – конусами, берегові лінії не можна зобразити за допомогою кіл, кору дерев не назвеш гладкою, а шлях блискавки – прямолінійним.

Багато форм природи настільки неправильні і фрагментовані, що в порівнянні з фігурами класичної геометрії природа демонструє не просто більш високий ступінь, але цілком інший рівень складності, який притягує своєю невідомістю, і цим породжує інтерес.

Отже, головна властивість фракталів самоподібність – це наявність тонкої структури, що повторюється, як на найменших масштабах об'єкта, так і в макромасштабі. Історія фракталів розпочалася з геометричних фракталів, які досліджувалися математиками у XIX столітті. Фрактали цього класу – найнаочніші, тому що в них одразу видно самоподібність. Прикладами таких

фракталів є (див. рис. 5.1): криві Коха, Леві, Мінковського, трикутник Серпінського, губка Менгера, дерево Піфагора та інші [18, 19].

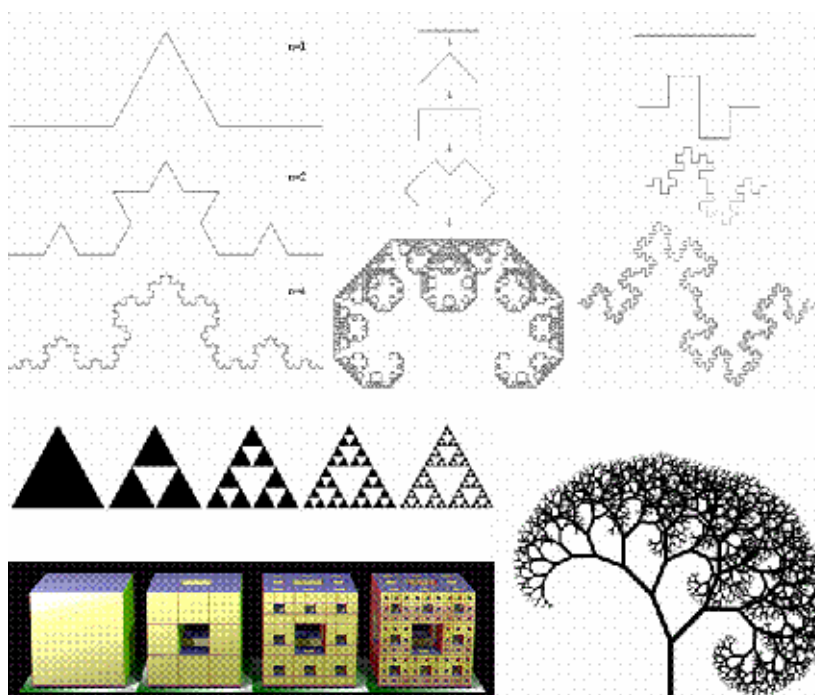


Рис. 5.1. Приклади фракталів

Розмірність математичної множини, що має фрактальну структуру, називається фрактальною розмірністю і має дрібне значення.

У той час як гладка евклідова лінія заповнює лише одинірний простір (розмірність простору Евкліда, може приймати тільки цілі значення: розмірність лінії-1, площини-2, поверхні-3), фрактальна крива виходить за межі одинірного простору.

Існує безліч класифікацій фракталів. Прийнято вирізняти регулярні та нерегулярні фрактали (математичні абстракції), подібні до сніжинки Коха або трикутника Серпінського, а інші – витвором природи або діяльності людини. Нерегулярні фрактали, на відміну від регулярних, зберігають здатність до самоподібності в обмежених межах, що визначаються реальними розмірами системи. Розглянемо деякі приклади фракталів.

#### *Сніжинка Коха*

Ця крива була придумана як приклад безперервної лінії, до якої не можна провести дотику в жодній точці. Лінії з такою властивістю були відомі і раніше

(Карл Вейерштрас побудував свій приклад ще в 1872 році), але крива Коха чудова простотою своєї конструкції. Не випадково його стаття називається «Про безперервну криву без дотичних, яка виникає з елементарної геометрії».

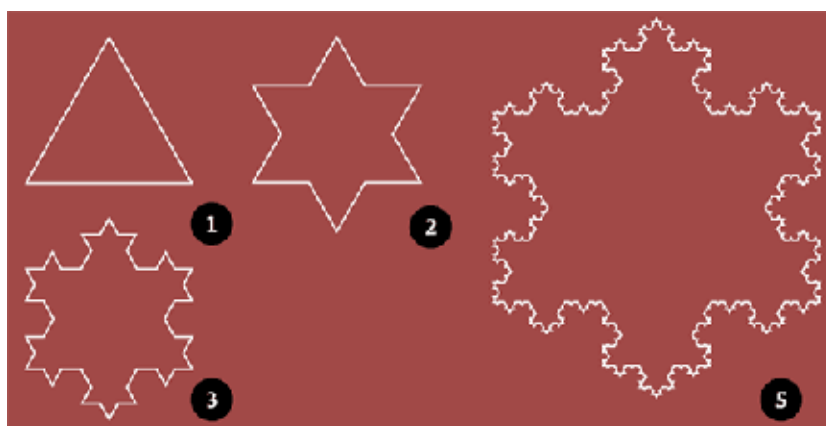


Рис. 5.2. Сніжинка Коха

Рис. 5.3 добре ілюструє побудову кривої Коха. Перша ітерація - це просто початковий відрізок. Потім він ділиться втричі рівні, центральна добудовується до правильного трикутника і потім викидається. Виходить друга ітерація – ламана лінія, що складається із чотирьох відрізків. До кожного з них застосовується така сама операція, і виходить четвертий крок побудови. Продовжуючи так само, можна отримувати все нові й нові лінії (всі вони будуть ламаними). А те, що вийде у межі (це вже буде уявний об'єкт), і називається кривою Коха.

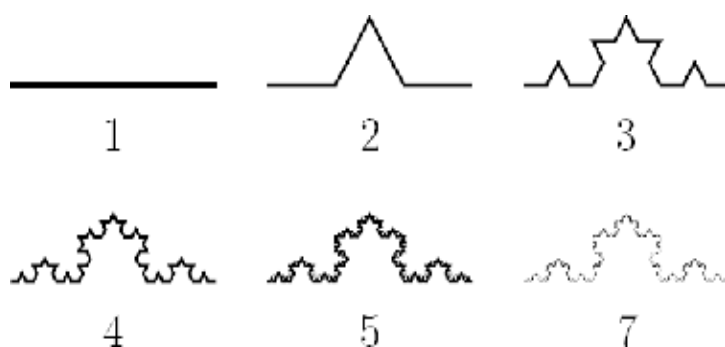


Рис. 5.3. Побудова кривої Коха

### *Трикутник Серпінського*

Цей фрактал описав 1915 року польський математик Вацлав Серпінський. Регулярний фрактал, що називається трикутником Серпінського, виходить

послідовним вирізуванням центральних рівносторонніх трикутників так, як показано на рис. 5.3. В результаті одержано "діряву" фігуру, що складається з нескінченного числа ізолюваних точок.



Рис. 5.4. Трикутник Серпінського

#### *Розмірність фракталу (Хаусдордова розмірність)*

Міру використовують для вимірювання об'єктів. Її головна властивість полягає в тому, що міра адитивна. Висловлюючись побутовою мовою, при злитті двох об'єктів, міра суми об'єктів дорівнює сумі заходів вихідних об'єктів. Для одновимірних об'єктів міра пропорційна розміру. Якщо взяти відрізки довжиною 1см і 3см, «скласти» їх, то «сумарний» відрізок матиме довжину 4см (1+3). Для неоднорічних тіл міра обчислюється за деякими правилами, які підбираються так, щоб міра зберігала адитивність. Наприклад, якщо взяти квадрати зі сторонами 3см і 4см і «додати» їх, одержимо площі (9+16=25), тобто сторона (розмір) результату буде 5 см. І складові, і сума є квадратами, тобто подібні один до одного і ми можемо порівнювати розміри. Виявляється, що розмір суми не дорівнює сумі розмірів.

#### *Дробова розмірність*

Про дрібну розмірність розглянемо на прикладах різних ламаних. Розглянемо один з найвідоміших математичних фракталів - «Зірку Коха».

З побудови та рисунка (рис. 8) помітно, що «зірку» можна розбити на чотири рівні частини, при цьому розмір (скажімо, довжина вихідного відрізка) кожної частини дорівнює третині розміру вихідної фігури. Тобто зменшена втричі, вона вкладеться в собі чотири рази. Автор статті дійшов наступного рівняння:

$$D = \ln(4)/\ln(3) \approx 1.26185950714291487419$$

Тобто це вже не просто відрізок або ламана (довжина зірки Коха нескінченна), а й не плоска фігура, що повністю покриває певну площу. Якщо ми злегка модифікуємо алгоритм побудови і отримуватимемо не  $1/3$  відрізка, а  $1/9$ , то ламана вийде більш щільною (рис.9).

Отже, «щільність» покриття відразу позначилася на розмірності. Ці передумови є фізичною основою для застосування фрактальної геометрії для аналізу морфології фрактографічних зображень.

## 5.2. Форми ямок в'язкого відриву

В даний час добре відомі і порівняно легко досяжні фактори підвищення властивостей міцності зварних швів. Однак більшість способів збільшення міцності призводить до зменшення в'язкопластичних показників. Загалом, шляхи поліпшення в'язкопластичних характеристик сталей відомі: диспергування структури, підвищення чистоти металу, зменшення шкідливих домішок та ін. При вязкому руйнування зварного шва, одержують дві поверхні з мікроямками на них. Форма ямок залежить від напружено-деформованого стану шийки зразка та локалізації напружень на макро-, мезо, і мікрорівнях. Еквівалентна кругла ямка це ідеалізований об'єкт, що утворюється за одновісного розтягу. Зерна вторинної фази, межі зерен, межі «включення-матриця» та внутрішньозернові дефекти є місцем появи мікропородофектів та у подальшому, мікроямок.



а



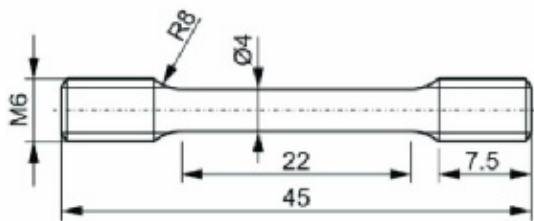
б



в



г

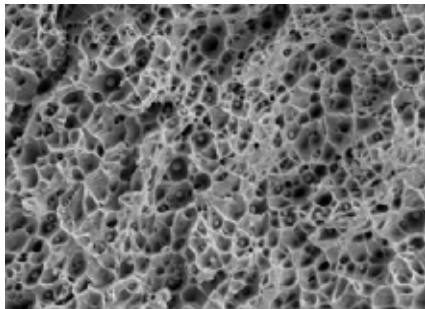


є

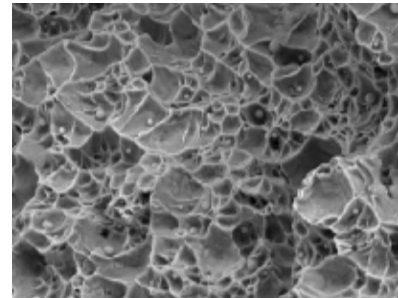
д

Рис. 5.5. Зварні шви утворені роботизованим зварюванням та вирізаний зразок

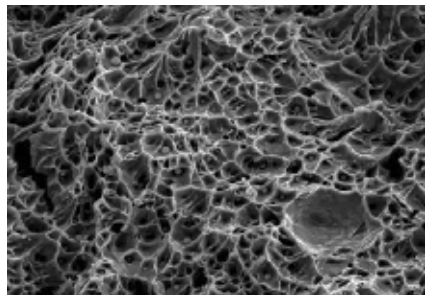
Оптимальні фізичні властивості в'язкості зварних швів, визначаються комбінаціями пластичності і міцності сталі. Тому з зони зварного шв вирізали зразки, випробовували їх за умов статичного розтгу та аналізували злам методом скануючої мікроскопії. Оцінювали кількісні параметри поверхні руйнування. Зокрема кількість виміряних і розрахованих ямок в'язкого відриву. Обчислювали також діаметри утворених на поверхні руйнування зварного шва ямок, їх визначали за допомогою попередньо розробленого алгоритму оптико-цифрового аналізу. Зображення морфології ямок в'язкого відриву, отримані під мікроскопом, показані на рис. 5.6.



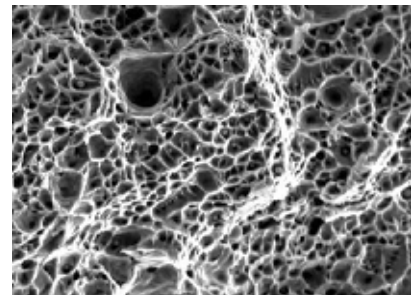
а



б



в



г

Рис. 5.6. Електронно-мікроскопічне зображення поверхні руйнування

Доведено, що діаметр ямок коливався від 0,5 до 30 мкм, залежно від типу зразка та умов навантаження. Глибина ямок залежить від здатності металу зазнавати локалізованої пластичної деформації. Як правило, існує лінійна залежність між глибиною ями та роботою руйнування, тобто чим більша глибина ями, тим більша робота витрачається на деформацію та руйнування. Загалом, форма ямки визначається напруженим станом і напрямком прикладеного навантаження.

В'язке руйнування є менш небезпечним порівняно з крихким руйнуванням, оскільки в'язкому руйнуванню передують велика макропластична деформація і енергоємність процесу в'язкого руйнування досить висока. Найчастіше, механізм в'язкого руйнування - внутрішньозеренний (транскристалітний), хоча, може бути і міжзеренний (інтеркристалітний).

Механізм в'язкого руйнування - це зародження та збільшення мікропор. В'язке руйнування відбувається з початком утворення пор (мікропустот) навколо включень або частинок другої фази. У процесі деформування пори різних розмірів різного типу можуть зливатися. Через деформацію вони витягуються. Перемички між сусідніми порами поступово потоншуються, пори зливаються, утворюючи ямковий злам, який власне й характеризує властивості матеріалу.

Операція порогового поділу, що у результаті дає бінарне зображення, називається бінаризацією. Метою операції бінаризації є радикальне зменшення кількості інформації, що міститься на зображенні. У процесі бінаризації вихідне напівтонове зображення, що має кілька рівнів яскравості, перетворюється на чорно-біле зображення, пікселі якого мають лише два значення – 0 і 1.

Основним параметром цього перетворення є поріг  $t$  - значення, з яким порівнюється яскравість кожного пікселя. Залежно від результату порівняння пікселю присвоюється значення 0 або 1.



Збої в процесі бінаризації призводять до таких артефактів, як розриви рядків, втрата важливих деталей, порушення цілісності об'єкта, шум і непередбачуване спотворення символів через неоднорідність фону.

Яскравість - це насиченість певного відтінку, тобто ступінь візуальної різниці між кольоровим і рівнояскравим ахроматичним (сірим). Насичені кольори можна назвати соковитими, глибокими, менш насичені - м'якими, близькими до сірого. У цифровій техніці цей параметр кодується за допомогою 8 біт, тому він може приймати 256 значень, від 0 до 255.

Аналізовані зображення бінаризовано, змінюючи їх інтенсивність із 75 до 115, оскільки цей діапазон найкраще відображає розподіл чорних поверхонь на зображенні. Крок «5» зміни інтенсивності є оптимальним, оскільки більші кроки призводять до недостатньої кількості інформації, а менші кроки призводять до невеликих змін у ділянках чорної поверхні на зображеннях різної інтенсивності, рис. 5.7.

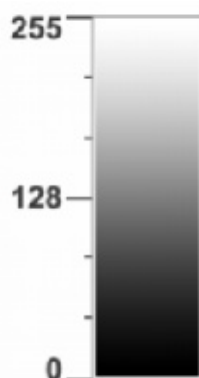
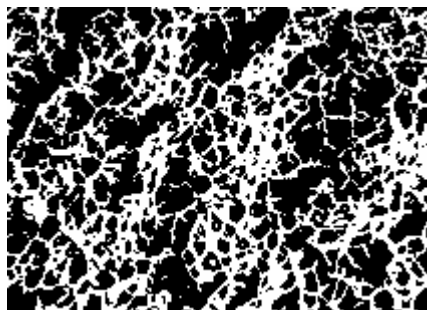
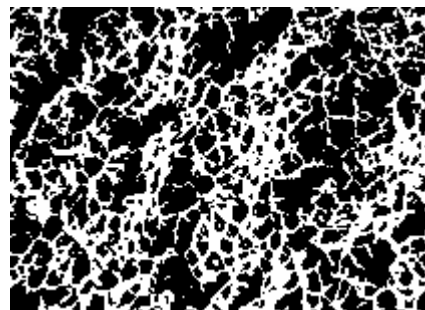


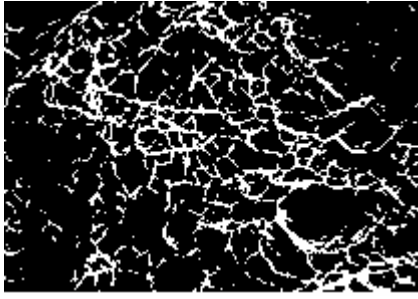
Рис. 5.7. Графік інтенсивності аналізованих зображень



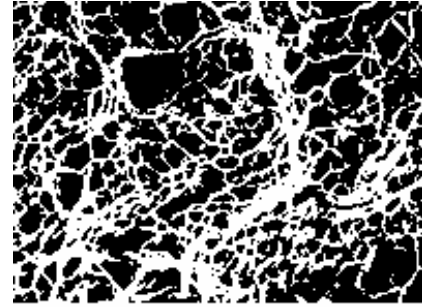
а



б



В



Г

Рис. 5.8. Електронно-мікроскопічне зображення поверхні руйнування

Маючи кількість ямок в'язкого відриву і їх діаметри, ми визначили середнє значення діаметра. Середній діаметр визначається за формулою:

$$D_{сер} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n},$$

де  $n$  – кількість ямок,  $D_1 \dots D_n$  – їх діаметри.

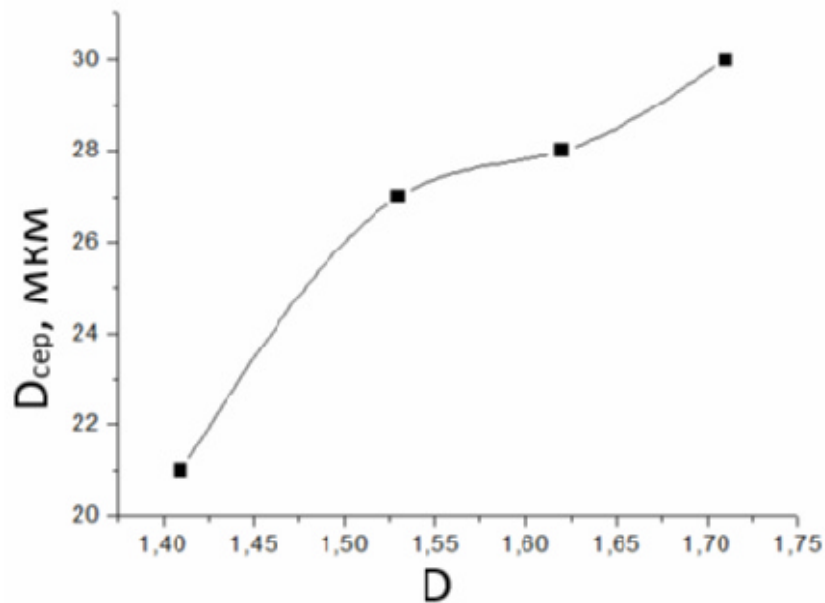


Рис. 5.9. Графік залежності середнього діаметра від фрактальної розмірності

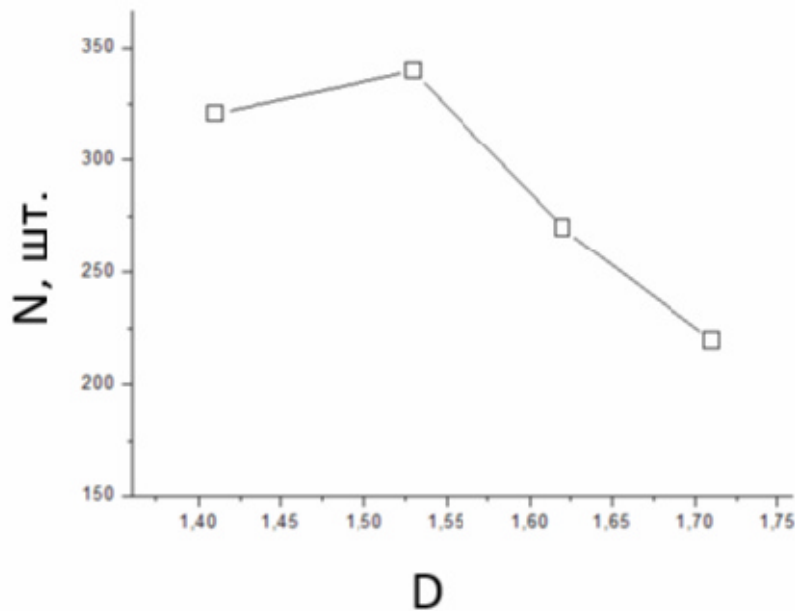


Рис. 5.10. Схема зміни кількості виявлених ямок в'язкого відриву від фрактальної розмірності

Фрактальна розмірність є характеристикою чутливішою до мікроструктури поверхні та характеру поширення тріщин. Зміна фрактальної розмірності відбувається разом із зміною інтеркристалітного характеру руйнування на транскристалітний. Також підтверджено, що фрактальна розмірність є параметром чутливим до характеру поширення тріщин: інтеркристалітне руйнування матеріалу характеризується найбільшою фрактальною розмірністю.

## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека життєдіяльності людини при виконанні зварювально-монтажних робіт забезпечується знанням вимог, інструкцій, постанов та законів про охорону праці. В Україні охорона праці забезпечується Конституцією України, Законом України “Про охорону праці” а також Кодексом законів про охорону праці, тому вона вимагає суворого дотримання встановлених норм та правил і в разі їх порушення притягає до відповідальності відповідної форми.

Закон про охорону праці визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Охорона праці – це система правових, соціально – економічних, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних і лікувально – профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі і трудової діяльності [24].

Законодавство про охорону праці складається з Закону про охорону праці, Кодексу законів про працю України, Закону України “Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності” та прийнятих відповідно до них нормативно – правових актів. Якщо міжнародним договором, згода на обов'язковість якого надана Верховною Радою України, встановлено інші норми, ніж ті, що передбачені законодавством України про охорону праці, застосовуються норми міжнародного договору.

Відділ охорони праці або техніки безпеки є самостійним структурним підрозділом підприємства і підкоряється безпосередньо керівнику або головному інженеру підприємства.

Відділ несе відповідальність за підготовку організації роботи на підприємстві із створення здорових і безпечних умов праці працюючих, попередженню нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань.

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів**

При проведенні комплексу робіт при виготовленні кришки клинової засувки необхідно розробити план заходів по нормальному безпечному виконанню всього об'єму будівельно – монтажних робіт. Під нормальним безпечним виконанням робіт розуміють такі роботи, що виключають різного роду виробничі фактори, які шкідливо впливають на здоров'я людини, а також можуть призвести до травм та різного роду нещасних випадків. Для встановлення можливих причин виникнення шкідливих факторів проводять аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів. Аналіз приведений в табл. 6.3.

При виготовленні кришки клинової засувки застосовується чимало шкідливих для працюючих шкідливих речовин. При збільшенні граничнодопустимої концентрації (ГДК) шкідливих речовин, вони дуже негативно впливають не тільки на здоров'я людини, а і на навколишнє середовище. Характеристика шкідливих речовин при спорудженні резервуару проведена в табл. 6.3.

Таблиця 6.3. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів [23]

<b>Джерело небезпеки</b>	<b>Характер факторів та їх допустимі значення</b>
Транспортні та навантажувально - розвантажувальні роботи	Знаходження працюючих в зоні дії стріл розвантажуючи машин) а також під вантажем, що розвантажуються. Обрив тросів внаслідок невірною стропування або малого запасу

	міцності і перевантаження. Перевантаження розвантажувальних засобів
Зварювальні роботи	Попадання металевої стружки в органи зору при виконанні робіт по підготовці стиків із застосуванням шліфувально-ріжучого інструмента Ураження електричним струмом ( $I = 300 \text{ А}$ ; $U=380 \text{ В}$ ; $f=50 \text{ Гц}$ ) Ушкодження органів зору світловим випромінюванням зварювальної душі, а також пошкодження органів шкіри (опіки).
Монтажні роботи	Обрив тросів монтажних захватів. Перевертання техніки.
Контроль якості зварних з'єднань	Враження рентгенівськими та гамма - променями. Експозиційна доза рентген/год на відстані 1 м від джерела випромінювання.

## 6.2 Забезпечення нормальних умов праці

Безпосередньо будівельні роботи на території зварювальних майданчиків, пов'язані з застосуванням вогню (зварювання, різання), та викидів в атмосферу шкідливих речовин (табл. 6.4.), тому житлове містечко знаходиться за територією зварювальної ділянки на спеціально відведеному місці. В ньому знаходяться: будинок для проживання, їдальня, санітарно – гігієнічні вузли (табл. 6.5).

Таблиця 6.4 – Характеристика шкідливих речовин, які використовуються на підприємстві [23]

Найменування речовини або матеріалу	ГДК даної речовини мг/м <sup>3</sup> в робочій зоні		Характер шкідливої дії речовини на організм людини	Перша допомога при отруєнні
Бензин	100	5	Ринофарингіт; захворювання серцево-судинної системи хронічний бронхіт, бронхіальна астма; органічне захворювання центральної нервової системи	Свіже повітря, тепло, 20-30 крапель валеріани
Дизпаливо	300	3	Різко виражений атрофічний ринофарингіт; захворювання серцево-судинної системи хронічний бронхіт, бронхіальна астма; органічне захворювання центральної нервової системи.	Свіже повітря, тепло, 20-30 крапель валеріани
Газ	300	50 ОБРД	Різко виражений атрофічний ринофарингіт, ларингіт; захворювання серцево-судинної системи; хронічний бронхіт, бронхіальна астма; органічне захворювання центральної нервової системи	Свіже повітря, тепло, 20 - 30 крапель валеріанки
Ацетилен	1.5	0.5	Запаморочення, наркотичне сп'яніння, головні болі, захворювання шкіри, пошкодження оболонки ока.	Свіже повітря, міцний чай
Аерозолі	300	0,5	Різко виражений атрофічний ринофарингіт, органічні захворювання центральної нервової системи	Свіже повітря, міцний солодкий чай або кава
Пропан	300	65 ОБРД	Різко виражений атрофічний ринофарингіт, ларингіт; захворювання серцево-судинної системи; хронічний бронхіт, бронхіальна астма; органічне захворювання центральної нервової	Свіже повітря, міцний чай

			системи	
--	--	--	---------	--

Закінчення таблиці 6.4

Найменування речовини або матеріалу	ГДК даної речовини мг/м <sup>3</sup> в робочій зоні		Характер шкідливої дії речовини на організм людини	Перша допомога при отруєнні
Бутан	300	200	Різко виражений атрофічний ринофарингіт, ларингіт; захворювання серцево-судинної системи; хронічний бронхіт, бронхіальна астма; органічне захворювання центральної нервової системи	Свіже повітря, міцний чай

Відстань між лицевими поверхнями шаф в будинку приймаємо 2 м і при розміщенні лавок по обидві сторони від проходу. Всі виробничі приміщення повинні використовуватися тільки за призначенням і мати проектну – технічну документацію. Об'єм виробничого приміщення на кожного працюючого повинен складати не менше 1,5 м<sup>3</sup>, площа не менше 4,5 м<sup>2</sup>, а висота від підлоги до стелі – не менше 3,2 м. Температура в приміщенні в холодний період року повинна становити від 18 до 21°C, а в теплий період від 22 до 25 °C.

Мікроклімат визначає діючі на організм людини поєднання температури вологості, швидкості руху повітря і інших умов робочої зони.

Мікрокліматичні умови поділяють на оптимальні і допустимі. Оптимальні умови характеризується поєднанням параметрів, які при довгій і систематичній дії людину забезпечують збереження комфортного і теплого стану організму без напружень його терморегуляторних механізмів (табл. 6.5).

Допустимі мікрокліматичні умови це таке поєднання параметрів мікроклімату, яке при довготривалій систематичній дії на людину можуть викликати функціональні зміни в організмі людини, які не виходять за межі допустимих фізіологічних коливань, не супроводжуються відчуттям теплового дискомфорту погіршення самопочуття і пониження робото здатності, з



наступною швидкою нормалізацією функціонування організму після завершення роботи.

Таблиця 6.5 – Номенклатура санітарно – побутових приміщень [24]

№	Назва приміщені	Найменуван ня побутових пристроїв (обладнання)	Норма площі на одну людину , м <sup>2</sup>	Кількість працюючих чол..	Всього площі, м <sup>2</sup>	Фактична площа побутового приміщення	Примітка
1	Гардеробні блоки чоловічі	Шафа подвійна (розмір 50см × 40см ), шафа одинарна (розмір 50см × 33см)	1,1	90	99	100	Відповідає
2	Кімната відпочинку	Столи, стільці, телевізор	0,1	90	18	26	Відповідає
3	Їдальня	Столи, стільці	1,01	90			Відповідає
4	Душові	Ріжки	0,7 1/15	90	18	36	Відповідає
5	Умивальник	Крани	0,7 1/10	90	14	16	Відповідає
6	Приміщенн я сушки	Шафи, лавки	1,1	90	4	4	Відповідає
7	Туалети	унітази	1,1 1/20	90	4,5	6	Відповідає

Таблиця 6.6 – Значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих зон

Характеристика	Категорія робіт	Період року	Температура °С	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря, м/с
Розвантажувальна ділянка	середньої важкості	теплий	22,5	60	0,2-0,5
Зварювальна	середньої	теплий	22,5	60	0,2-0,5

ділянка	важкості				
Монтажна територія	середньої важкості	теплий	22,5	40-60	0,2-0,5

Режим роботи на відкритому повітрі, час організації перерв для нормалізації теплового стану організму, гранична жорсткість погоди, при якій допускається проведення робіт, регламентують відповідні відділи в організації, яка виконує роботи. Характеристика освітленості робочих місць наведена в табл. 6.7.

Для зварювальників що працюють на відкритому повітрі монтажних площадок нормальні умови забезпечують наступними шляхами: створюють на робочих місцях нормальні умови; встановлення раціональних режимів праці, особливо зимою (перерви для обігріву, скорочений робочий день, припинення роботи при дуже високих дуже низьких температурах, застосування обігрівуючого спецодягу).

Таблиця 6.7 – Характеристика штучної освітленості робочих місць [24]

Найменування об'єкту	Освітленість, лк			Тип світильників
	Загальне освітлення	Комбіноване освітлення	Аварійне освітлення	
Механічний цех	10	250	5	СПО—200
Механічна майстерня	150	200	5	Н4Б—300М
Зварювальна дільниця	30	100	2	ПВЛМ
Адміністративний будинок	150	300	3	НОГЛ

Електробезпека рідко забезпечується яким – небудь одним заходом, тому на зварювальних майданчиках застосовують комплекс захисних заходів. Електричні захисні засоби поділяють на дві групи: електричні засоби; засоби індивідуального захисту.

В табл. 6.8 приведений перелік необхідних засобів індивідуального захисту з вказівкою їх призначення і області застосування. Для створення комфортних умов праці потрібно врахувати необхідність розробки проектних рішень з промислової естетики, вибрати обробку та кольорове оформлення інтер'єрів виробничих приміщень і споруд, інженерного обладнання, засобів управління і автоматизації інженерних комунікацій, частин які рухаються, огорож, підйомно – транспортних засобів, захисних пристроїв

В основу захисту персоналу іонізуючих випромінювань нормативними документами (НРБ – 76, і ОСІ – 72/87) закладені три принципи радіаційної безпеки:

- виключення необгрунтованого опромінювання;
- неперевищення дозової межі;
- зниження дози опромінювання до можливо низького рівня.

Таблиця 6.8 – Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) працюючих [23,24]

<b>Шкідливий виробничий фактор</b>	<b>Призначення (ЗІЗ)</b>	<b>Назва (ЗІЗ)</b>	<b>Професія працюючого</b>
Механічні травми	Захист від механічних травм	Рукавиці ДУ-3 8-40-632-72	Слюсар, стропувальник
Опіки шкіри	Захист від опіків шкіри	Спецодяг, ГОСТ 12.4.035-78	Зварювальних
Світлове пошкодження	Захист органів зору	Маска з світлофільтром, ГОСТ 12.4.035-78	Зварювальних
Механічні ураження органів зору	Захист органів зору	окуляри захисні, ГОСТ 12,4.013-8	Слюсар
Отруєння шкідливими випарами	Захист органів дихання	Протигази ГОСТ 12.3.038-87	Оператори, лектрики, слюсар водії.

Закінчення таблиці 6.8

<b>Шкідливий виробничий фактор</b>	<b>Призначення (ЗІЗ)</b>	<b>Назва (ЗІЗ)</b>	<b>Професія працюючого</b>
Радіаційне опромінення	Захист органів дихання	Захисні свинцеві екрани ГОСТ 12.4.044-56	персонал, що працює з джерелом випромін

Ураження органів електричним струмом	Захист верхніх кінцівок	Діелектричні рукавички ДУ-38-40-632-72	Електрик
Отруєння шкідливим випаровуванням	Захист органів дихання	Протигази, ГОСТ 12.4.034-85 ССБТ	Слюсар

Згідно НРБ – 76 опромінювані особи підрозділяються на три категорії (А, Б, В), а органи і тіло людини, у порядку убубання чутливості до випромінювань - на три групи критичних органів (І, ІІ, ІІІ).

Як основні дозованої межі залежно від групи критичних органів для категорії А встановлюється за рік гранично допустима доза (ПДД), а для категорії Б – межа дози(ПД).

ПДД характеризує значення індивідуальної еквівалентної дози за рік, протягом 50 років не викличе в стані здоров'я персоналу несприятливих змін.

ПД встановлюється менше ПДД для запобігання необгрунтованому опромінюванню осіб категорії Б і контролюється по осередненій для критичної групи дозі зовнішнього випромінювання і рівню радіоактивних викидів і забруднення об'єктів зовнішнього середовища. Значення ПДД і ПД приведені в табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Основні дозовані межі зовнішнього і внутрішнього опромінювання

Річна дозова границя	Група критичних органів					
	І		ІІ		ІІІ	
	Зв	бер	Зв	бер	Зв	бер
ПДД для категорії А	0,05	5	0,15	15	0,3	30
ЩД для категорії Б	0,005	0,5	0,015	1,15	0,03	3

При роботі з радіоактивними ізотопами на будівництві встановлена наступна доза опромінювання:

- для працюючих з гамма джерелами – 0,1 бер/тиж;
- для кістей рук за умови, що весь організм одержує не більш 0,5 бер/тиж/

Таблиця 6.10 – Потужність еквівалентної дози при захисті від зовнішнього випромінювання [23,24]

Категорія опромінення	Призначення приміщень і територій	R <sub>екв</sub>	
		мкЗв/год	м бер/год
категорія А (1=36 год. в тиж.)	Приміщення постійно перебуваючого персона категорії А	14	1,4
	приміщення де персонал перебуває не більше половини робочого часу	28	2,8
категорія Б (1=41 год. в тиж.)	приміщення, заклади, лабораторії і території	1,2	0,12
категорія Б (1=168 год. в тиж.)	приміщення і території в границях зони спостереження	0,3	0,03

В середньому нормальна доза опромінення людини від природного радіаційного фону і дози, одержуваної пацієнтом за час медичних процедур за рік, складає 0,001 грей.

### 6.3 Забезпечення безпеки технологічних процесів монтажу і експлуатації обладнання

До небезпечних факторів, на виробництві, відносять: небезпеку електротравматизму, падіння з висоти, опіки під час ізоляційних робіт, отруєння парами шкідливих речовин.

В зв'язку з цим для забезпечення безпеки праці передбачені технічні міри захисту від потенційно небезпечних виробничих факторів.

Вибрані технічні засоби захисту від виявлення потенційно небезпечних виробничих факторів наведені в табл. 6.11.

В нафтовій промисловості використовується обладнання, яке працює під тиском, а саме – трубопроводи. Порушення герметичності може привести до надзвичайно серйозних вибухів, жертв.

Для виготовлення посудин, що працюють під тиском використовують матеріали, які повинні добре зварюватись і мати високі міцнісні і пластичні

характеристики. Зварюють елементи посудин тільки в стик. Виготовляють їх із спеціальних сортів сталі в залежності від категорії посудин.

Таблиця 6.11 – Технічні засоби захисту від небезпечних виробничих факторів [23,24]

<b>Небезпечний фактор виробничого середовища</b>	<b>Виробничий захисний пристрій</b>	<b>Технічна характеристика пристрою чи засобів</b>	<b>Місце встановлення</b>
Падіння з висоти	Інвентарна огорожа, плакати	ГОСТ 12.4.059-78	Робоче місце
Небезпека електротравматизму	Заземлення, занулення	ГОСТ 105-74	Робоче місце
Отруєння парами шкідливих речовин	Вентиляція	Витяжна, приточна, місцева вентиляція	Робоче місце
Ураження високим тиском	Встановлення запобіжних і скидних клапанів	СППК4Р-200	
Ураження статичною енергією	Грозозахист	Стержневі блискавковідводи ДНАОП 48.0.00-1.29-97	Площадка ЗД
Вібрація	Одношарове тверде покриття	Матеріал на основі каучуку ТУ 46-50-5091-71	Насосний цех
Небезпека від рухомих частин	Захисні ковпаки, накидні кришки	Залізні чи із сплаву кольорових металів	Муфти, фланці

Не дозволяється для виготовлення елементів посудин, що обігриваються полум'ям використовується сірий чавун при температурі більше 50 °С і ковкий чавун при температурі 650 °С [23,24].

## 7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечуючи пожежну безпеку слід керуватися нормами технічного проектування, будівельними нормативами, правилами експлуатації установок і іншими нормативними актами виходячи із сфери їх дії, які регламентують вимоги пожежної безпеки (ДБН В.1.1.7–2002).

Безпосередньо монтажні і будівельні роботи на території зварювальних майданчиків. Вогневі роботи (табл. 7.1) можна виконувати лише за дотриманням усіх вимог пожежної профілактики, що обумовлені в дозволі.

Таблиця 7.1. – Пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, які використовуються [24]

Назва речовини	Температура, °С			Границі запалення концентраційний об'єм, %		Методи гігієни
	Спалаху	Легко займання	Займа ння	Верхня межа	Нижня межа	
Бензин	-34	300	-4	5,16	0,79	Піна, вуглекислота
Ацетон	-18	5	5	12,8	2,5	піна, вуглекислота
Дизпаливо зимове літнє	48	240	119	6,8	1,6	піна, вуглекислота
	71	310	100	7,2	2,3	
Пропан	-	406	-	9,0	2,0	Вуглекислота
Бутан	-	390	-	9,0	2,0	Вуглекислота
Ацетилен	295	335	305	81	2,5	Вуглекислота

При виконанні зварювальних робіт обладнання повинно бути заземленим, для чого використовують електрокабель такого ж перерізу, як і основний. На майданчиках, де встановлене обладнання для зварювання, необхідно дотримуватись наступних заходів пожежної безпеки:

- повне виключення можливості проникнення рідких і пароподібних нафтопродуктів;
- очищення території від сміття, горючих предметів;
- прибирання сухої трави в радіусі 5 м від місця проведення вогневих робіт;

На підприємствах вогневі роботи дозволяється проводити не ближче 20 м від резервуарних парків або резервуарів з нафтопродуктами, що стоять окремо; причому під час наповнення (або відкачування) нафтопродуктами вогневі роботи дозволяється проводити не ближче 40 м від цих резервуарів. Використовування системи пожежогасіння дозволяє ліквідувати пожежу, не дивлячись на наявність закритих зверху ділянок поверхні горіння. Піна здатна обтікати затонулі конструкції і розтікатися по всій поверхні горючої рідини.

Таблиця 7.2.– Класифікація виробничих приміщень за вибухо – та пожежонебезпекою [23,24]

<b>Назва дільниці</b>	<b>Категорія виробництв приміщень за вибухотапожежо безпекою</b>	<b>Клас Приміщень за пожежонебезпекою</b>	<b>Характеристици приміщень за ступенем електро безпеки</b>	<b>Категорія вибухонебезпечної суміші</b>	<b>Група вибухонебезпечної суміші</b>	<b>Умовне позначення електро обладнання</b>
Розвантажувальна дільниця	В	В-Ia	2 клас з підвищеною безпекою	Па	T <sub>3</sub>	-
Зварювальна дільниця	В	В-IIa	2 клас з підвищеною безпекою	Па	T <sub>3</sub>	-



Закінчення таблиці 7.2.

Назва дільниці	Категорія виробництв приміщень за вибухота пожежо безпекою	Клас Приміщень за пожежо-небезпекою	Характеристика приміщень за ступенем електро безпеки	Категорія вибухонебезпечної суміші	Група вибухонебезпечної суміші	Умовне позначення електро обладнання
Монтажна дільниця	В	В-Па	2 клас з підвищеною небезпекою	Па	T4	ПСГ-500

До комплексу заходів з пожежного захисту входять питання застосування первинних засобів пожежегасіння. В таблиці 7.3 приведені ці засоби.

Таблиця 7.3. – Засоби пожежогасіння [23,24]

Споруди	Категорія за СНиП	Площа, яка захищається, м <sup>2</sup>	Первинні засоби пожежогасіння		
			вуглекислотний вогнегасник	Ящик з піском 0,5 м <sup>3</sup>	Піноутворювач
Механічні майстерні	Д	50	1	1 шт.	-
Монтажна дільниця	А	350	ОУ-2 або ОУ-5 1шт, ОУ- 25 1шт.	2 шт.	Система піногенераторів
Зварювальна дільниця	Б	1800	ОУ-8 5 шт.	2шт.	-

## ВИСНОВКИ

У процесі роботи над кваліфікаційною роботою магістра було отримано такі результати:

-розглянуто умови виконання зварних швів роботизованим методом, вивчено їх структуру, класифікацію, мікрофізичні характеристики; вивчено методи фрактальної геометрії та розроблено алгоритм розрахунку фрактальної розмірності;

-розроблено методику проведення роботизованих експериментів у лабораторних умовах, проведено досліди з руйнування матеріалів із зарним швом на автоматизованій експериментальній установці, отримано зображення поверхонь руйнування;

Користуючись виявленими діагностичними ознаками запропоновано автоматизовану класифікацію поверхонь руйнування, на основі цифрового аналізу зображень. Прикладом практичного застосування інформації про фрактальну розмірність є виявлення крихкого зламу з дефектом.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення найбільш точного виміру фрактальної розмірності, також важливим є збільшення кількості експериментальних даних, що сприяє поліпшенню якості класифікації.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ямпольський Л.С. Елементи робототехнічних пристроїв і модулів ГВС / Л.С. Ямпольський, М.М. Поліщук, М.М. Ткач. - К. : Вища шк., 1992. - 431 с.
2. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навч. посібн. / Я.І. Проць. - Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. - 232 с.
3. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. - 344с.
4. Савків В. Б. Розвиток робототехніки в ТНТУ під керівництвом професора Ярослава Проця / В. Б. Савків, Р. І. Михайлишин // Матеріали міжнародної наукової конференції „Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України“ (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 року. - Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020. - С. 97-98.
5. Михайлишин Р.І. Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій [Текст]: дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук / спец. 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини” / Р.І. Михайлишин. – Тернопіль, 2018. – 185 с.
6. Данилюк О.А. Безконтактні захоплюючі пристрої для автоматизації завантаження технологічного обладнання [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.13.07 / Данилюк Ольга Андріївна; Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя. - Тернопіль, 2003. - 247 с.
7. Фендьо, О.М. Обґрунтування параметрів та конструкцій струминних захоплювачів пристроїв завантаження [Текст]: дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук / О.М. Фендьо; - Тернопіль: Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2012. - 209 с.
8. Chen Shanben. Research Progress of Intelligent Robot Welding Technology [J], Robot Technology and Application, 2007, 5:8-11.

9. Zhang Yongbin, Lu Rongsheng, Fei Yetai. Color pseudo-random coding projection system and calibration in machine vision [J] Journal of Harbin Institute of Technology, 2004, 36(1):59-68
10. Li Yuan, Xu De, Shen Yang та ін. A Weld Structured Light Image Processing and Feature Extraction Method [J], Journal of Welding Science, 2006, 27(9): 25-28
11. Yoshimi BH, Allen P K. Alignment Using an Necalibrated Camera System [C]. IEEE Trans On Robotics and Automation, 1995, 11 (4): 516- 521.
12. Xu Y, Yu H, Zhong J, et al. Real-time seam tracking control technology during welding robot GTAW process based on passive vision sensor[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212(8): 1654 – 1662.
13. Guo B, Shi Y, Yu G, et al. Weld deviation detection based on wide dynamic range vision sensor in MAG welding process[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 87(9–12): 3397 -3410.
14. Xu Y, Fang G, Chen S, et al. Real-time image processing for vision-based weld seam tracking in robotic GMAW[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(9–12): 1413 – 1425.
15. He Yinshui, Kong Meng, Chen Huabin, et al. Weld seam profile identification based on visual attention mechanism in robotic thick-plate welding [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2015, 36(12): 51-55.
16. Semančík, K. Návrh robotizovaného pracoviska v simulačnom prostredí RobotStudio. Diplomová práca. Košice, 2021.
17. 15.02. ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Project: ROBIN - Simulation and Offline Programming of Industrial Robots, 2016.
18. Nejrozšířenější nástroj na offline programování robotů na světě . Retrieved from <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
19. Product specification – RobotStudio. Retrieved from <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC026932-001&Language Code=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

20. Download RobotStudio with RobotWare and PowerPacs. Retrieved from <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/downloads>

21. Михайлишин Р. І. Аналіз методів планування траєкторій маніпуляторів / Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Луцький НТУ. – Луцьк, 2016. – №8 (1). – С. 61 - 69.

22. H. Chen, H. Okeke and B. Zhang Development of an Economical 3D Sensor for Weld Seam Tracking in Robotic Welding, *2022 12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2022, pp. 168-173, doi: 10.1109/CYBER55403.2022.9907251.