

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ЗВАРЮВАННЯ СМТ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТА UR-10»**

Виконав: студент 6 курсу, групи Маш- 61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Назар БАРДЕГА  
(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н. проф. Віталій ВЛАСОВЕЦЬ  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“12” вересня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту

**Бардега Назар Ігорович**

1. Тема роботи: **«Дослідження технологічного процесу зварювання СМТ з використанням робота UR-10»**

Керівник роботи: Власовець Віталій Михайлович, д.т.н., проф.

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 06.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Огляд інформаційних джерел;

2. Матеріал і методи досліджень;

3. Підвищення довговічності деталей;

4. Моделювання поста зварювання та калібрування робота;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

*Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: мета та завдання досліджень;*

кластери досліджень в напрямку робототехніки для зварювання; фінтенсиивність досліджень; загальний вигляд змодельованого поста зварювання; слайди що ілюструють налаштування робота для зварювання.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Власовець В.М. д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Огляд інформаційних джерел»</i>	12.09.24- 26.09.24	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Метеріали і методи досліджень»</i>	27.09.24- 16.10.24	
3.	<i>Виконання розділу: «Процес нанесення покриття»</i>	17.10.24- 05.11.24	
4.	<i>Виконання розділу: «Налаштування UR-10»</i>	06.11.24- 18.11.24	
5.	<i>Виконання розділу: «Кінематичне калібрування робота»</i>	19.11.24- 27.11.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	28.11.24- 06.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ Назар БАРДЕГА  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Віталій ВЛАСОВЕЦЬ  
(підпис)

УДК 631.332

Дослідження технологічного процесу зварювання СМГ з використанням робота UR-10

Бардега Н. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

54 с. текст. част., 15 рис., 2 табл., 55 джерела інформації.

Мета роботи: Дослідження технологічного процесу зварювання СМГ з використанням робота UR-10.

Для досягнення основної мети роботи було виконано наступні завдання:

Оцінено особливості використання роботів для зварювання;

Перевірена можливість підвищення довговічності нанесенням зносостійкого покриття;

Встановлено напрямки подальшого підвищення зносостійкості.

## ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1. Технології відстеження зварних швів	11
1.2. Технологія дистанційного зварювання	14
1.3. Автономне програмування та технології моделювання	17
1.4. Технологія синхронного зварювання декількома роботами	19
1.5. Висновки	22
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1. Устаткування для наплавлення	31
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ РОБОТА UR-10 ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ	26
3.1. Процес нанесення покриття	26
3.2. Налаштування UR-10	29
3.3. Кінематичне калібрування робота	35
ВИСНОВКИ	49
Список використаних джерел	50

## ВСТУП

Важливою проблемою сучасного машинобудування є розробка методів підвищення зносостійкості та зниження енерговитрат деталей, що працюють при абразивній взаємодії з ґрунтом.

Використання роботизованих зварювальних апаратів у машинобудуванні має велике значення через численні переваги, які вони надають підприємствам. Ось деякі з основних причин, чому роботи мають відношення до цієї професії.

Роботи можуть виконувати рутинні завдання швидко та з високою точністю, це скорочує час виробничого циклу та підвищує продуктивність. Роботи здатні працювати цілодобово без зупинки, що дозволяє значно збільшити обсяг виробництва. Роботи гарантують високу точність і послідовність операцій, що знижує ймовірність помилок і підвищує якість кінцевої продукції. Використання роботизованих систем контролю якості сприяє більш точному та швидкому виявленню помилок.

Використання роботів може зменшити потребу в ручній праці, що призведе до зниження витрат і витрат, пов'язаних з оплатою праці. Роботи мають високий ступінь точності, вони зменшують кількість матеріальних відходів і максимально використовують ресурси. Використання роботів полегшує зосередження уваги на більш складних і менш фізично вимогливих завданнях, що покращує загальні умови праці. Роботів можна перепрограмувати для виконання нових функцій або зміни конфігурації виробництва, що дає змогу швидко реагувати на зміни ринку або продукту.

Використання роботів у машинобудуванні актуальне через їх здатність підвищувати ефективність, продуктивність і якість виробництва, знижувати витрати, підвищувати безпеку, забезпечувати гнучкість і адаптивність, а також мати сучасний вигляд. Це сприяє збереженню конкурентних переваг і стабільності підприємств в умовах швидкого технологічного розвитку та мінливих ринків.

Цей проект присвячений дослідженню потенціалу деталей для протистояння зношенню під час обслуговування роботизованою системою UR-10.

## РОЗДІЛ 1.

### ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зварювання є одним з найважливіших процесів у виробництві і використовується для створення виробів різного призначення. Сьогодні це один із найперспективніших методів створення стійких покриттів, які можна носити, особливо це актуально після хірургічного втручання. Ці продукти включають лапу культиватора, яка зазвичай використовується для інтенсивного подрібнення. [1-4].

Зварювальник також вважається небезпечною і вимогливою професією з високим ризиком травматизму. Під час зварювання утворюються шкідливі випари, аркоірис і тепло, які можуть назавжди пошкодити очі та дихальну систему. Нинішня нестача кваліфікованих працівників і зростаючі виробничі потреби на конкурентному глобальному ринку призвели до збільшення використання роботизованих технологій. Роботизоване зварювання використовується в промисловості протягом багатьох років.

Робот-зварювальник — це автоматизований промисловий пристрій, який виконує зварювальні роботи. Пістолет, який використовується для зварювання, розташований на механічному інтерфейсі останньої осі роботизованого зварювального пристрою через фланець, який з'єднує обидва. Робот-зварювальник — це шарнірна машина, яка зазвичай має 6 ступенів свободи. Використання роботизованих зварників дозволяє збільшити продуктивність, знизити інтенсивність, стабільнішу якість, диференціацію продукції та внесок у модернізацію пов'язаних галузей.

У завданні оцінюється стан проблеми, пов'язаної з використанням роботів, які використовують зварювання (рис. 1.1). Інформація була вибрана з найбільш значущих досліджень 2018 року. Були обрані дослідження, на які найчастіше посилалися. Вони представлені на малюнках 1.1-1.3. Кількість членів залежить від кількості цитувань. Чим більше площі, тим більше проводиться досліджень. Червоний і синій — старіші статті 2018-2021 років,



а зелений і особливо жовтий — останні статті 2022-2024 років. Тонкі стрілки позначають зв'язки між кластерами. Виявилося, що найпопулярнішими новими трендами є:

- адитивний спосіб виробництва з використанням роботизованого зварювання;
- впровадження технологій глибокого навчання в розробку завдань машинного навчання та комп'ютерного зору..

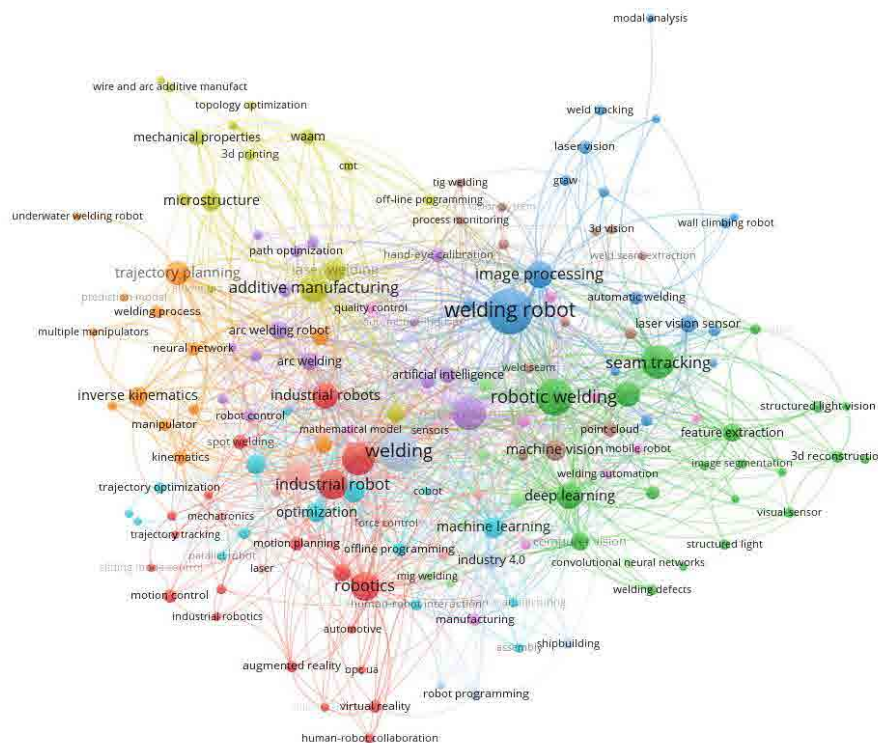


Рисунок 1.1 Кластери досліджень по застосуванню зварювальних роботів

Досягнення стабільного, якісного та ефективного зварювання є головним завданням, яке підкреслює важливість застосування зварювальних роботів, а також є важливою темою в галузі зварювальних роботів. Через універсальний і складний характер процесу зварювання надзвичайно важко регулювати якість одержуваного шва. Щоб уникнути впливу вищезазначених факторів на якість зварних швів, роботизоване зварювання має спиратися на впровадження міждисциплінарних знань, включаючи комп'ютерні

технології, інформаційні датчики та штучний інтелект, щоб ідентифікувати та стежити за рухом зварних швів, інформація щодо динамічних властивостей зварювальної ванни, а параметри змінюються для покращення якості та ефективності зварних швів.

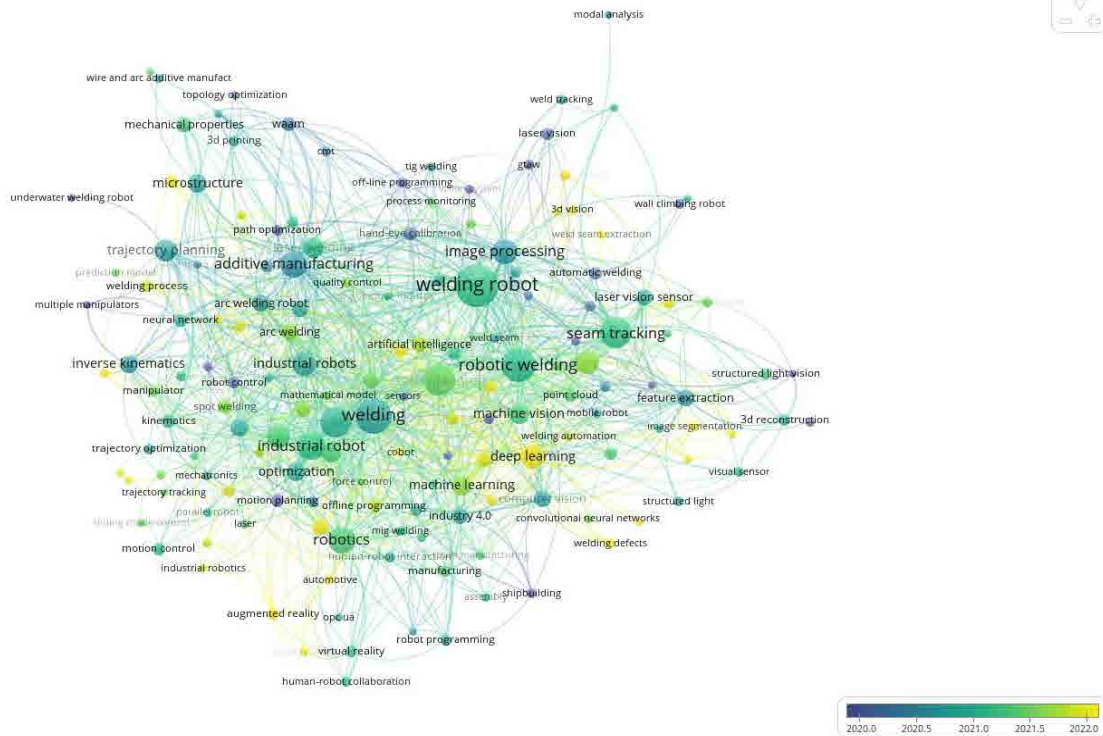


Рисунок 1.2 Інтенсивність досліджень з застосування роботів для зварювання

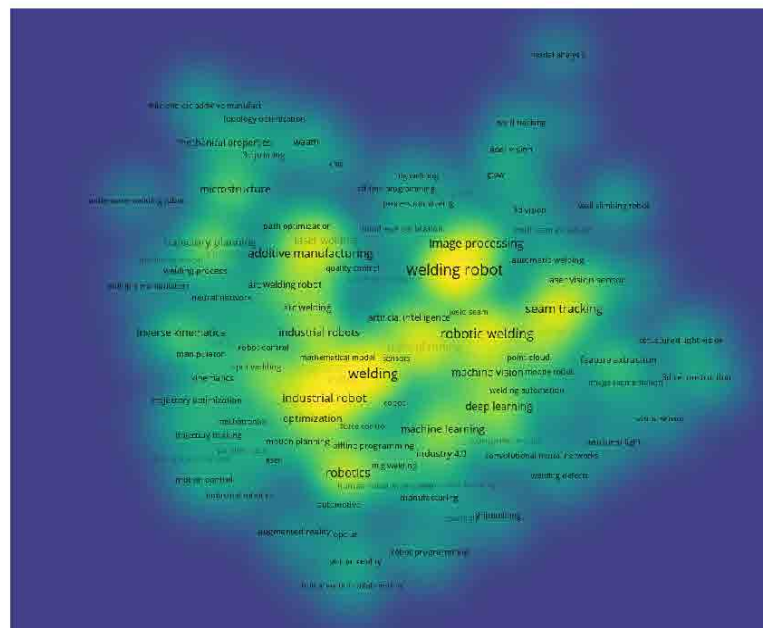


Рисунок 1.3 Теплова карта проблематики з застосування зварювальних роботів

### 1.1. Технології відстеження зварних швів

Через помилки в обробці або складанні компонента, а також через деформацію зварного шва, викликану нерівномірними температурними полями, форма і розташування зварного шва зміняться. У результаті використовується технологія відстеження зварних швів для спостереження за станом зварного шва під час процесу зварювання з метою його виправлення. Рівномірність важлива для забезпечення якості зварювання. Сьогодні більшість технологій відстеження зварювання складається з датчиків і компонентів керування. У сфері зварювальних роботів використання датчиків зростає від одного датчика до комплексної комбінації даних із кількома датчиками. Що стосується контролю, то в дослідженнях технології зварювання зазвичай використовуються нечіткі та гібридні методи керування. Поєднання цих методів призводить до підвищення ефективності технології зварювання, таке поєднання має ряд корисних властивостей, в тому числі самонавчання і самоадаптація.

Деякі автори [8] розглядали задачу визначення місця зварювання як візуальне переслідування мети і запропонували надійний, за їхніми словами, алгоритм переслідування мети для визначення місця розташування зварювального шва. Перед початком процесу зварювання шов розділяється за допомогою накопичувальної частоти відтінків сірого, яка використовується для адаптивного визначення положення та розміру вікна пошуку. По-друге, вони пропонують метод гравітації, який призначений для отримання більш плоскої центральної лінії, пов'язаної зі зварним швом, що зменшує вплив перетину шва та шуму на точність розташування точки. Далі вони збільшують продуктивність і точність системи в реальному часі, використовуючи метод рекурсивних найменших квадратів із двома порогами, щоб відповідати кривій, отриманій послідовним методом гравітації. Зрештою, запропоноване рішення перевершує інші рішення для відстеження та розпізнавання швів, про це свідчать численні експерименти.

Кілька експертів запропонували новий метод розпізнавання відхилень у зварюванні TIG. Спочатку вони використовують двосторонній фільтр, який видаляє шум, зберігаючи при цьому край області зображень, отриманих камерами з високим динамічним діапазоном. Крім того, розширений алгоритм використовується для точного визначення точної форми дуги, точного розташування ванни та характеристик зварного шва. Далі вони розробляють спеціальний алгоритм, який видає весь контур краю. Зрештою, розташування пікселів середньої точки зварного шва та центральної лінії дуги визначається за допомогою максимальної кривизни та параболічного алгоритму відповідно. експериментальні результати демонструють, що запропонований алгоритм здатний точно отримувати положення зварювального шва та відхилення центральної лінії дуги, ці властивості є важливими для точності роботизованого зварювання та реалізації функції корекції в реальному часі контролер процесу зварювання.

Деякі автори запропонували метод прогнозування та керування криволінійним рухом колісного робота-зварника, який використовувався при будівництві великих сферичних суден. Основними перевагами цього нечіткого контролера, який є прогнозним, є невелика помилка відстеження та наявність лінеаризованої моделі, що зменшує складність обчислювального процесу та покращує якість відстеження. Експериментальні результати вказують на потенціал і переваги цього типу нечіткого контролю для відстеження криволінійних зварних швів.

У роботі [11] досліджували дугочутливу систему та характеризували відхилення шва методом характеристичних гармонік. Потім автори створили нечіткий контролер, який дозволив би симулювати та тестувати запропоновану систему, результати демонструють, що система здатна послідовно відстежувати шви.

Кілька авторів описали нову роботизовану систему зварювання, яка використовує датчик обертової дуги як єдиний датчик для відстеження швів. Вони пропонують модель системи, яка має кінематичну природу, і

розробляють нечіткий регулятор, що саморегулюється, на основі параметрів контролера. Зрештою, результати експерименту демонструють, що роботизована система здатна автоматично генерувати великі кутові зварні шви в безпосередній близькості.

Розроблено систему керування процесом зварювання, яка автоматично запускає проходження дроту через центр матеріалу мішені. Під час процесу зварювання зображення зварювальної ванни та ділянок теплового впливу зберігається при первинній напрузі джерела живлення, що використовується для зварювання. Потім аналізується зображення передньої частини зварного шва, щоб визначити розмір зазору та напрямок зварного шва. Ця інформація використовується для налаштування умов зварювання та відстеження положення шва.

Розроблено алгоритм автоматизованого аналізу зображення зварювальної ванни [14]. Експерименти продемонстрували, що вейвлет-перетворення ефективно усуває шум із зображень, зберігаючи важливі деталі, а також запобігає розмиванню меж зображення. Цей алгоритм також підходить для роботи зварювального робота.

Метод автоматичного розпізнавання та відстеження зварювального сліду за допомогою світлового структурування запропоновано в [15]. У цьому дослідженні рядки символів, отримані із зображення об'єкта, перетворюються на символи, отримані з моделі, це робиться для визначення положення зварного шва. Переваги нового алгоритму проілюстровано та порівняно за допомогою кількох експериментів.

Автори [16] продемонстрували новий метод виявлення та відстеження швів під час процесу газовольфрамового дугового зварювання вольфрамовим стрижнем. Ефективність запропонованого алгоритму за наявності шуму на зображенні ванни, що використовується для зварювання, перевірено за допомогою комп'ютерного моделювання та реальних експериментів. Результати експериментів показали життєздатність визначення положення зварного шва, щоб слідкувати за рухом шва.

У результаті було досягнуто значних успіхів у вивченні технології виявлення зварних швів. Напрямок майбутнього розвитку полягає у використанні передових технологій для сприяння більшій потужності для збору та обробки інформації з метою підвищення інтелектуальності системи. Однак система відстеження швів заснована на обробці зображень, що систему важко реалізувати через велику кількість даних, які залучаються, і вона потребує великої кількості обчислювальних ресурсів.

## 1.2 Технологія дистанційного зварювання

З розвитком науки й економіки сфера застосування зварювання розширилася й охопила високі, низькі температури та інші умови, за яких використання зварювальних процесів є надзвичайно складним. Під егідою забезпечення якості зварювального процесу максимізація комфорту людини при мінімізації ризику є однією з актуальних тенденцій в еволюції роботів, які зварюють.

Розвиток дистанційної технології зварювання ефективно вирішує проблеми, згадані вище [17-20].

Обговорюється ідея [21] мати дистанційне керування телероботичною системою, яка призначена для дистанційного зварювання в невизначеному середовищі. По-перше, система цього типу використовує та реалізує три різні стратегії диспетчеризації: дистанційне навчання на основі лазерного бачення, планування та управління на основі графіки та автономне керування на основі планування та керівництва, а також локальне керування. По-друге, цей тип системи має три різні режими керування, які об'єднані в мультимодальний інтерфейс «людина-машина». Було експериментально продемонстровано три режими керування для підвищення продуктивності телероботичної системи щодо дугового зварювання. Ця система є гнучкою та може виконувати дистанційні неструктуровані операції.

Кілька вчених [22] описали нову гібридну систему віртуальної реальності для дистанційного моніторингу зварних швів. Спочатку вони

використовують 3D-сканування для створення цифрового представлення об'єктів, що зварюються. По-друге, дизайн створюється з набору шаблонів або 3D-друк базується на моделі. Потім процес зварювання контролюється камерами та візуалізується на 3D-моделі за допомогою проєктів. Це полегшує можливість зварювальника спостерігати за процесом зварювання так, ніби він відбувається на моделі, з відповідною просторовою та тривимірною інформацією. Зрештою, дослідження користувачів показують, що система безпеки людини зменшила психічне навантаження та є більш корисною для зварників.

У 23 запропоновано систему дистанційного керування роботом-зварювальником, який використовує кілька перспектив. Після того, як оператор намалює двовимірний шлях на зображеннях, система перетворить його на 3D і покаже рух роботизованої платформи, додавши графіку до зображення. Точність цього типу системи достатня для спаявання об'єктів шляхом поєднання з датчиком, який виявляє дотик.

Автори [24] алгоритму розпізнавання зображень при дистанційній пайці. У цьому дослідженні вони створили експериментальний дизайн і порівняли одне зображення мішені, яка зварена, з іншою, яка ні. З результатів експерименту стає очевидним, що система може виділяти велику кількість важливих точок і забезпечувати відповідну технологію для дистанційного зварювання за допомогою зображення.

Досліджено систему дистанційного огляду зварювальних апаратів за протоколом V/S [24, 25]. Ця система використовує мікрокомп'ютер для реалізації збору та передачі даних. Проведені експерименти демонструють, що система здатна задовольнити вимоги дистанційного моніторингу та має певне практичне значення.

Проведено випробування дистанційної роботизованої зварювальної системи (RWRS) [26]. Оператор використовує м'яч як засіб дистанційного керування роботом, вони наближаються до зварного шва за допомогою стереозображення та системи графічного представлення. Результати

експерименту та моделювання свідчать про те, що система RWRS є високоефективною, значною та має додатковий потенціал для зростання.

Інтелектуальна стратегія керування [27] на основі людського моделювання, що базується на управлінні силою, пропонується шляхом аналізу траєкторії помилки цільової сили на основі моделі керування ППД. Експериментальні результати показують, що процес керування є простим і швидким у порівнянні з іншими формами керування, такими як PID. Це більш ефективно для практичних застосувань, які включають дистанційне навчання зі зварювання. У роботі [28] застосовано дистанційне зварювання на основі роботизованої системи та досліджено характеристики процесу. Для дистанційного лазерного зварювання доступна система, яка поєднує сканер і роботизовану систему. У дослідженні [29] границі плавлення для різних кутів нахилу джерела тепла визначали чисельним шляхом на основі аналітичних розрахунків глибини замкової щілини. Теоретичні прогнози узгоджуються з експериментальними даними, зібраними за допомогою дистанційної системи, яка контролює процес зварювання під час накладання тонких листів з нержавіючої сталі AISI 304.

Переваги та недоліки дистанційного лазерного зварювання розглянуті в [30]. Це забезпечує найвищу якість зварювання та ріжучих кромek завдяки навмисному контролю параметрів процесу.

### 1.3 Автономне програмування та технології моделювання

Сьогодні метод програмування зварювального процесу в галузі роботизованого зварювання базується насамперед на навчанні, це потенційно може створити ризики для безпеки програміста та робота-зварювальника. Крім того, виробництво зварювальних виробів розвивається в напрямку більш гнучкого підходу, який включає кілька змінних, невеликі партії та комплексну гнучкість виробництва. Сфера застосування для програмування, що включає зварювання, також розширена, включаючи екстремальні умови. Ці фактори не відіграють ролі в реалізації освітніх ініціатив. Використання



офлайн-технологій програмування та моделювання може ефективно вирішити вищезазначені проблеми. Порівняно з онлайн-навчанням програмування, офлайн-система може скоротити час, який оператор витрачає на програмування, і покращити середовище програмування.

Сьогодні кілька систем намагаються тією чи іншою мірою вирішити цю проблему. Добре відома 3D віртуальна автономна роботизована система з 6 ступенями свободи, яка є похідною від вторинної функції 3D програмного забезпечення UG. Він виконує функції проектування системи, моделювання руху, планування шляху, автономне програмування, моніторинг стану тощо. Система здатна задовольняти вимоги автономного програмування для роботів із 6 ступенями свободи. У процесі програмування дверей автомобіля робот повинен мати 6 ступенів свободи. У деяких регіонах [32] пропонується метод автономного програмування роботизованого зварювання. Цей метод є похідним від поєднання програмного засобу, який моделює рухи роботів, і простого інтерфейсу, який полегшує автоматичне створення програми керування. Користувач може візуалізувати розташування компонентів у робочому просторі робота та імітувати рухи та послідовності роботи в завданнях, які є специфічними для контролера. Такий методологічний підхід забезпечує високу універсальність роботизованої системи при зварюванні великої кількості різноманітних виробів. Метод був застосований і оцінений у практичній зварювальній майстерні.

Відомий також комп'ютерний метод автономного програмування [33] для роботи з роботами, призначеними для зварювання в суднобудівній промисловості. Розроблено новий метод 3D-моделювання для роботизованої операційної системи нового типу. Потужність розробленої системи OLP базується на її здатності справлятися зі змінами в цільових об'єктах роботизованої системи. Крім того, оператор може швидко і легко створити роботизовану програму за допомогою розробленої системи OLP.

Кілька вчених [34] створили та впровадили людино-машинні інтерфейси для програмного забезпечення, яке використовується для

керування промисловим роботом АББ. Основною метою цього програмного забезпечення є надання функцій, які дозволяють програмувати роботів онлайн або офлайн. Програмне забезпечення полегшує 3D-візуальне моделювання робота та його оточення, крім того, воно дозволяє завантажувати власні об'єкти в простір моделювання.

Популярний метод [35], який спирається на платформу програмування. Його призначення полягає в тому, щоб автоматично генерувати шляхи для роботів з різних поверхонь довільної форми 3D-моделі CAD. Ці поверхні отримані в результаті лінійної та кругової інтерполяції існуючих шляхів 3D-моделі CAD. Продовжуючи еволюцію напрямку, дослідники [36] запропонували дослідження моделювання перешкод на основі роботизованого зварювання основи радара за допомогою програмного забезпечення KUKA Sim Pro та методів офлайн-програмування. Вигідно використовувати метод моделювання для регулювання руху робота під час зварювання, щоб зменшити ймовірність удару робота та зменшити кількість дефектів, пов'язаних із зварюванням.

Створено систему програмування, яка є автономною для роботів серії MOTOMAN [37]. Система може заздалегідь спланувати маршрут і положення зварювального пістолета для будь-якого зварювального шва, а також показувати деталь роботи на межі під час зварювання синхронно та з пропорційним розподілом. Результати тестування свідчать про успішну роботу системи. Інша розробила станцію, яка використовувала роботизований пістолет для програмування процесу дугового зварювання, щоб замінити попередній метод навчання та відтворення робота. Він складається з семи модулів, які дозволяють створити 3D-модель зварюваної деталі, враховуючи особливості деталі, розпізнаючи та перетворюючи технічну та геометричну інформацію швів, які будуть зварюватися, плануючи процес зварювання. , помістивши деталь на роботизовану систему, яка імітує умови та процеси, і завантаживши деталь на людину.

Розробив програмне забезпечення [39], яке використовувало платформу SolidWorksAPI для програмування. Основною метою цього програмного забезпечення є планування положення характерної системи координат, пов'язаної зі зварним швом. У поєднанні з кінематичною роздільною здатністю робота та автоматичним плануванням позицій можна досягти всіх кутів шва. Результати можна перенести в плагін програмного забезпечення SolidWorks і використати в симуляції роботизованого зварювання.

До цього моменту значні знання були отримані в дослідженні офлайн-програмування та методів моделювання. В інших країнах програмне забезпечення для програмування, яке працює в автономному режимі, має такі недоліки, як висока вартість і обмежений вихідний код. І навпаки, китайське програмне забезпечення в основному розробляється за допомогою SolidWorks, UG та іншого програмного забезпечення для 3D, впровадження цих програм потребує багато часу та грошей.

#### 1.4 Технологія синхронного зварювання декількома роботами

Оскільки надійність одного робота-зварювальника обмежена, цілком імовірно, що частину роботи зварювальника буде делеговано іншим роботам.

Кілька роботів, які займаються зварюванням, співпрацюють один з одним, щоб виконати завдання, які не може виконати один робот. Крім того, вимоги до конфігурації вищі, якщо складне завдання, пов'язане зі зварюванням, виконується одним роботизованим пристроєм, який також використовується для нагрівання матеріалу, і вимоги до кожного окремого робота в системі з кількома зварюваннями нижчі, якщо складне завдання ділиться на кілька роботів із простими можливостями [40-41].

На основі дослідження питання планування спільної траєкторії руху декількох роботів без захоплення знарядь було виявлено [42] метод планування траєкторії руху кількох роботів, який базується на замкненому ланцюжку кінематичних рівнянь, що приймає форма системи з двома

роботами як фокус дослідження. які співпрацюють, дотримуючись принципу залежності від лідера. По-перше, розглядається напрямок і розташування зварних швів по відношенню до орієнтації та положення пістолета. Крім того, замкнутий кінематичний ланцюг, який охоплює всі завдання, які виконує багатозадачний робот-зварник, створюється на основі концепції оптимізації руху з'єднання, щоб поєднати рух робота-зварювальника з шпатком металу. Потім вони розробляють відповідні моделі кооперативного руху, які стосуються сценаріїв подвійного роботизованого зварювання. системи, які мають можливість як шпавлення, так і зварювання. Зрештою, результати моделювання демонструють цінність і потенціал методу.

Дослідження кінематичної поведінки кооперативних роботів, які рухаються як окремо, так і з перекриттям, призвели до пропозиції [43]. новий метод навчання, який приймає форму траєкторії, отриманої за результатами аналізу кінематичних зв'язків між роботами Puma560. Результати моделювання показують, що висновки аналізу кінематичної взаємодії є точними, а запропонований метод навчання траєкторії ефективний для вирішення проблеми шляхів навчання для системи взаємодії кількох роботів.

Деякі методи підтримують [44] координацію двох роботів, які оснащені пальниками та займаються складним криволінійним швом, що вимагає використання другого робота для утримання заготовки, поки перший робот її зварює. По-перше, вони створюють систему пар координат між двома роботами, яка представляє метод триточкового калібрування між двома системами пар координат двох роботів і базовою системою. Крім того, вони обирають спосіб планування трафіку, який не залежить від принципу залежності лідера. Потім використовується процес опускання ліхтарика вручну, це гарантує, що ліхтарик і шов добре з'єднані під час процесу зварювання. Зрештою, результати моделювання показують, що процедура зварювання здатна задовольнити вимоги ручного зварювання.

Дослідження проблеми наявності декількох рухомих пристроїв для зварювання [45] призвело до фокусу проблеми наявності 3-осьового столу з

6-координатним маніпулятором. Цей підхід до проблеми координації є похідним від розподілу праці, і метод надлишкової координації є більш ефективним, ніж інші методи, оскільки він більш розширений і точніший. Дослідження обмежень траєкторії кооперативних роботів [46] призвело до розробки практичного методу навчання, який обертається навколо руху між позиціями кооперативних роботів. Таким чином була створена система з двох роботів-зварників, яка дозволила оцінити співвідношення обмежень і підтвердити запропонований метод навчання.

Було досліджено моделювання [47] та керування роботизованою системою, призначеною для зварювання. Він описує методи моделювання на основі BDI та теорії Петрі, а також методи зв'язку, проміжне програмне забезпечення та методи співпраці. Усе це обговорюється в розділі управління. Було зроблено комплексну пропозицію щодо побудови рівнів системи зв'язку, а також вирішення проблеми зв'язку між кількома роботами під час їх спільної роботи. Запропоновано процедуру покращення шляху двох кооперативних роботів-зварників. Було проведено випробування для оцінки різних шляхів зварювання на початковій точці з найбільшим успіхом у порівнянні з іншими вихідними точками з подібним успіхом.

Як один із найважливіших компонентів машинобудівних компаній, використання роботів, які використовують зварювальні технології, матиме значний вплив на майбутній промисловий розвиток. Останнім часом багато експертів і вчених присвятили свої дослідження вивченню зварювальних роботів у сферах дистанційного зварювання, автономного програмування та співпраці між декількома роботами. Проте все ще існують деякі технічні проблеми та теоретичні обмеження, зокрема щодо технології візуального керування, віртуальної реальності та інтелектуального роботизованого зварювання, ці проблеми пов'язані зі спільним керуванням кількома роботами. У найближчому майбутньому ці регіони відіграватимуть значну роль. З еволюцією та послідовним удосконаленням цих технологій

зварювання досягне нового рівня розвитку, особливо при застосуванні до стійких покриттів, які зношуються.

Мета роботи: підвищення експлуатаційної стійкості деталей шляхом наплавлення з використанням робота-зварника, який наносить зносостійкі покриття.

Для реалізації основної мети заходу необхідно було виконати наступні завдання:

- оцінити переваги використання роботів для автоматизації зварювання.

- Перевірити потенціал підвищення довговічності шляхом нанесення зносостійкого покриття;

Встановить рекомендації щодо підвищення зносостійкості.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Однією з частин, яка найчастіше зношується, є лапа культиватора, яка використовується для наплавлення дроту, що складається з кількох ниток, за допомогою роботизованого зварювального апарату. Особливістю роботи лапи є те, що агресивне абразивне середовище швидко змінює її форму, що в свою чергу суттєво впливає на витрату палива (рис. 2.1). Стандарти вимагають вказувати тільки величину геометричних розмірів - кути відхилення  $2\gamma = 65^\circ$  і розвалу  $\beta = 28^\circ$  включаються в опис. Універсальних даних щодо товщини робочої поверхні леза для цих виробів немає.

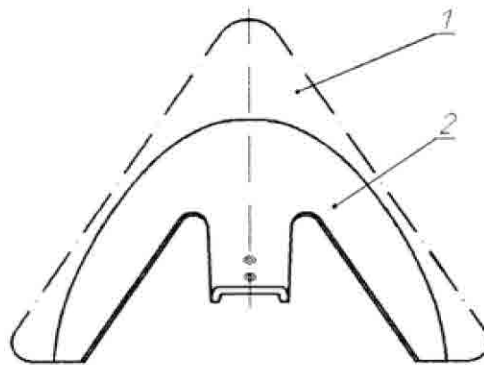


Рис. 1.1. Лапи після експлуатації: 1 – нова; 2 – після 70 га

Для механічних властивостей присвоєно рівень дурези 52-54HRC (для використання в найнесприятливіших умовах). Документально підтверджено, що збільшення твердості, яке не призводить до зменшення пористості, зазвичай підвищує стійкість до стирання. Крім того, найбільшого успіху досягає лезо товщиною 0,25-0,35 мм.

Твердість є важливою складовою механічних властивостей матеріалів, і матеріали з твердістю понад 40HRC є найбільш ефективними в цьому відношенні. Процедура вимірювання твердості за Роквеллом (тест на твердість по Роквеллу) є одним із найпоширеніших методів оцінки

твердості речовин. Цей метод використовується для визначення дурези металів та їх сплавів шляхом вимірювання ступеня впровадження індентора в матеріал. Процедура вимірювання Роквелла включає кілька основних етапів. Одним із найважливіших факторів є підготовка вимірюваної поверхні (поверхня зразка має бути чистою та рівною, без значних дефектів; товщина зразка має бути достатньою, щоб уникнути наслідків деформації з іншого боку). Невиконання цих вимог призведе до значних похибок у визначенні показника – до 25-30%. Коли ладі важко стабільно утримувати контроль, виникають більші значення відхилення. Під час фази вимірювання на індентор прикладається невелике початкове навантаження, зазвичай це (98 Н). Це полегшує контакт індентора з поверхнею зразка та встановлення початкової точки, яка вимірюватиме ступінь проникнення індентора в поверхню. Протягом цього часу визначали стабільність зразка. Після накладання початкового навантаження додається додаткове навантаження. Це навантаження поєднується з початковим навантаженням для формування загального навантаження. Обсяг цього навантаження залежить від вибраного масштабу (наприклад, 600 Н, 1000 Н, 1500 Н для різних масштабів Роквелла). Основне завдання — утримати вантаж протягом кількох секунд (зазвичай 5 секунд). Це забезпечить стабільність проходки індентора. Після експозиції основну частину навантаження січуть, залишаючи лише початкове навантаження. Ступінь закладеності індентора визначається величиною показника. Ця твердість безпосередньо пов'язана з глибиною матеріалу: чим менша відстань проникнення, тим твердіший матеріал. Для вимірювань використовували шкалу HRC (використовували алмазний конус з первинним навантаженням 1500 Н). Результати вимірювання твердості за Роквеллом були виражені у вигляді чисел, які безпосередньо пов'язані зі шкалою Роквелла (наприклад, HRC 60 означає 60 одиниць за шкалою Роквелла C).



До переваг методу відносяться його швидкозакріплюваний характер, невелика глибина індентора дозволяє зберегти зразок; однак у зв'язку з тим, що після вимірювання залишається відбиток, який є концентратором напружень при мінливому навантаженні, метод не рекомендується для полірованих поверхонь деталей, які мають високу ступінь навантаження. Здатність вимірювати дуреку як м'яких, так і твердих речовин за допомогою використання різних інденторів і навантажень. Однак у цього підходу є й недоліки. Зразок повинен мати достатню товщину, щоб уникнути зміни результатів вимірювання. Забруднення та шорсткість поверхні можуть вплинути на точність вимірювання. Для зразків неправильної або складної форми вимірювання може бути складним.

Обладнання Fronius використовувалося для обробки матеріалів, стійких до зносу. Процес наплавлення виконувався методом холодного перенесення металу (рис.2.2)



Рисунок 2.2 – Встановлення методу холодного нанесення металевих покриттів.

## РОЗДІЛ 3

### Використання робота UR-10 для наплавлення

#### 3.1 Процес нанесення покриття

Зварювання холодним електродом є переглянutoю версією методу зварювання MIG, заснованого на підході короткого замикання, розробленому компанією Fronius у 2004 році. Ця процедура відрізняється від процедури зварювання MIG/MAG лише тим, що ніколи не спостерігалось механічне різання краплею раніше. У процесі зварювання на температуру швів і основного металу впливають коливання температури, що позначається на властивостях матеріалу, залишкових напругах, точності розмірів і форми зварних виробів. Cold Metal Transfer сприяє контрольованому методу розміщення матеріалу та низькому термічному пошкодженню завдяки інноваційній системі подачі дроту в поєднанні з високошвидкісним цифровим керуванням. Швидкість подачі дроту та аркадна фаза змінюються, щоб отримати необхідну кількість енергії для розплавлення основного матеріалу, а також шару присадкового дроту. Процес СМТ має дві відмінні риси: одна – коротке замикання малої потужності, яке відбувається при температурі нижче 100 градусів Цельсія, це пов'язано з низьким підведенням тепла. інший – наявність короткого замикання, яке є стабільним і має низький струм, це пов'язано з низьким споживанням електроенергії.3.1). У процесі СМТ, коли кінчик електродного дроту стикається з розплавленою ванною, зварювальний механізм "robacter motion" змінюється комп'ютеризованим керуванням цифровим процесом. Це призводить до вкорочення дроту, що сприяє перенесенню дрібних крапель. Під час міграції металу струм майже дорівнює нулю, що дозволяє уникнути утворення бризок. Після завершення передачі металу дуга знову запалюється, і дріт знову подається вперед із стандартною кількістю тепла, встановленою для оплавлення.

Типовий цикл електричного сигналу зварника СМТ характеризується періодом, необхідним для застигання краплі розплавлених електродів у зварювальній ванні. Аналіз як струму, так і напруги має вирішальне значення для дослідження розподілу енергії між різними фазами в процесі перенесення крапель. Процес складається з трьох окремих етапів:

- пікова фаза струму: це постійна напруга, пов'язана з дугою, яка є високою протягом періоду пікового струму. Ця фаза використовується для легкого запалювання дуги, а потім нагрівання дротяного електрода до утворення краплі.

- поточна фаза: фаза менша за струм. Струм зменшується, щоб запобігти сферичному перенесенню маленької рідкої сфери, яка утворюється на кінчику дроту. Ця фаза завершується, коли відбувається коротке замикання.

- фаза короткого замикання: під час цієї фази напруга дуги знижується до нуля. Крім того, на механізм подачі дроту надсилається сигнал зворотного зв'язку, який змушує дріт втягуватися. Ця фаза сприяє руйнуванню рідини і передачі матеріалу в ванну зварювання.

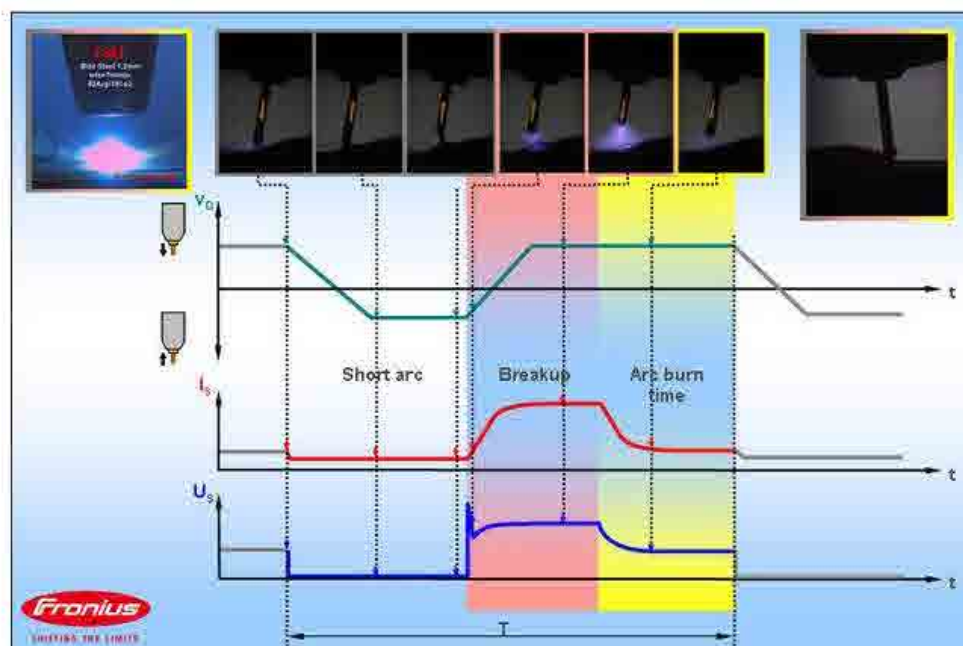


Рисунок 3.1 – Процес зварювання

Складна форма зварювального струму в процесі СМТ і «зворотний потік» присадного дроту, який механічно запускає перенесення металу, ускладнює розуміння взаємозв'язку між різними параметрами зварювання, перенесенням металу та теплопередачею. Завдяки ідеальному контролю довжини дуги та чудовим допускам на з'єднання країв метод СМТ широко використовується в різноманітних промислових застосуваннях, зокрема для склеювання країв колодок сільськогосподарського обладнання.

В якості зносостійкої дроту використовувався дріт для зносостійкого наплавлення з високим ступенем зносостійкості (аналогічний склад 30X13). Дріт діаметром 1,2 мм, захисний газ  $Ar+2\%CO_2$ . Перший шар 53-55HRC, другий шар 56-58HRC, третій шар 56-58HRC.

Ми розглядали можливість використання робота UR-10 від Universal Robotics.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд установки.

### 3.2 Налаштування UR-10

Певні області робочого простору повинні бути пріоритетними з точки зору небезпек, пов'язаних з фізичними властивостями маніпулятора. Одна зона призначена для радіального руху, ця область розташована біля основи роботизованої руки та має відстань менше ніж 1100 мм від зап'ястя першого суглоба. Інша зона розташована на відстані 300 мм від основи руху робота у разі перпендикулярного руху (рис.3.3).

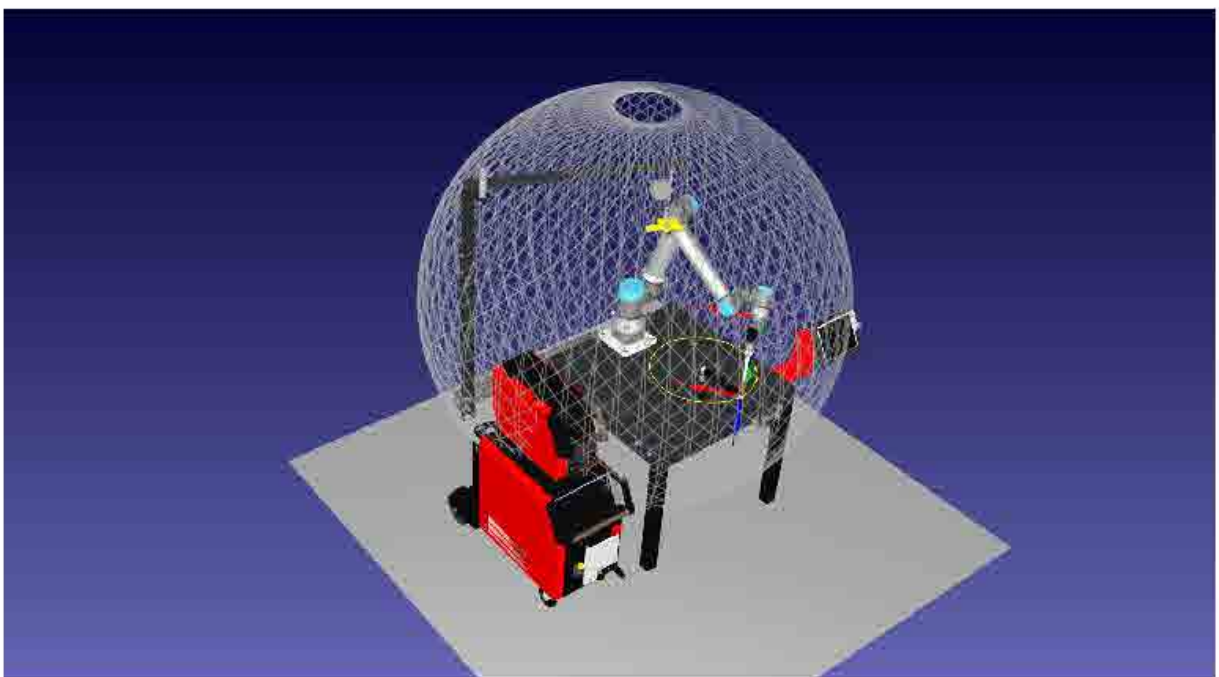
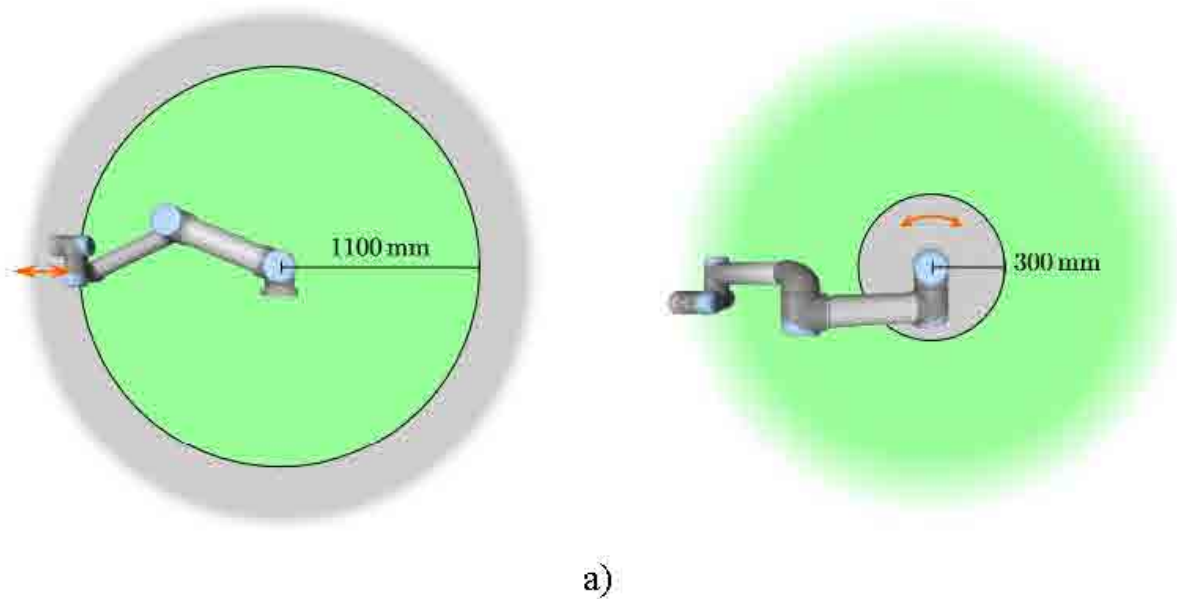


Рисунок 3.3 Зона роботи робота

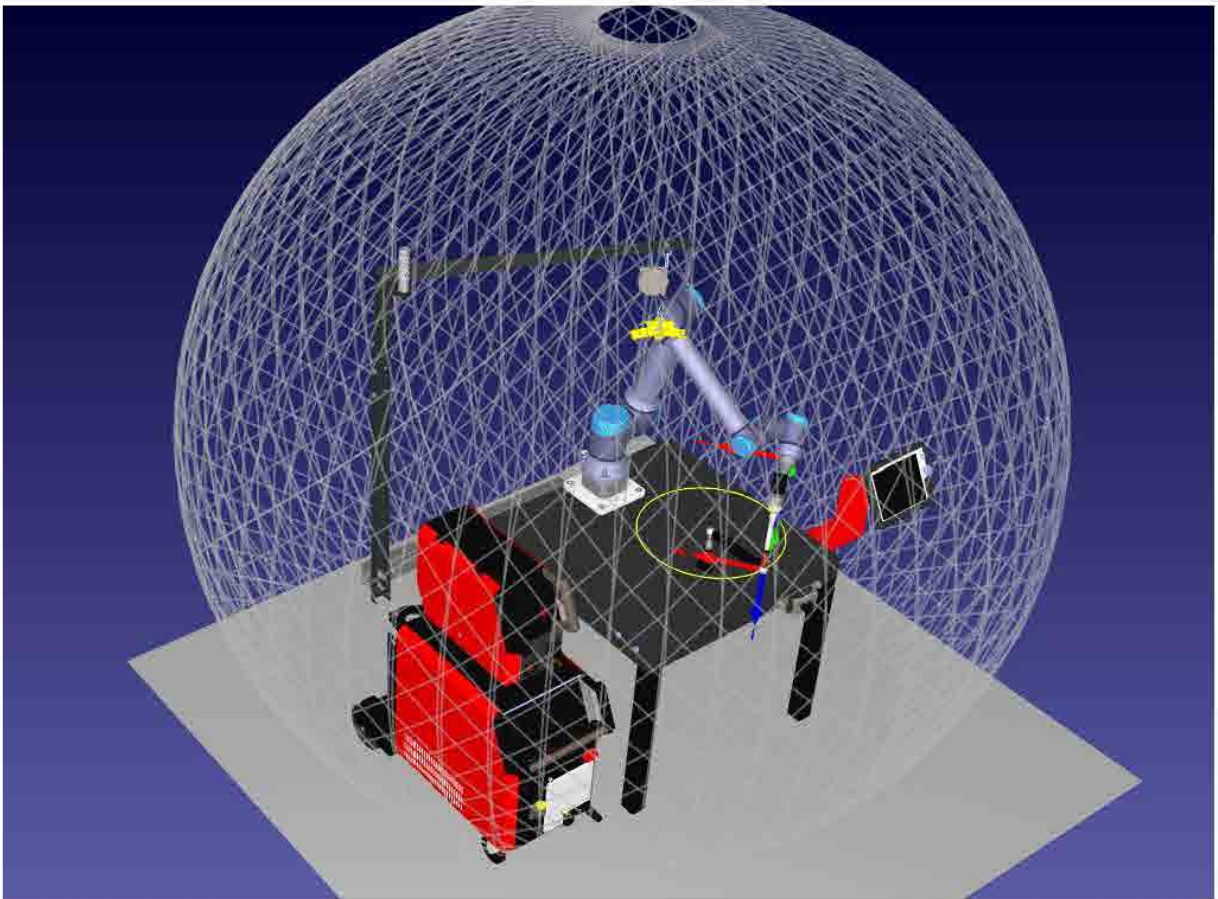


Рисунок 3.4 Зона з врахуванням інструменту.

Робочий простір роботизованої платформи UR10 має ширину 1310 мм і має точку з'єднання в основі. Під час розгортання роботизованої платформи враховуйте прямокутний простір безпосередньо над і під основою платформи. Наскільки це можливо, слід уникати наближення інструменту до циліндричного простору, це призведе до швидкого руху суглобів, коли інструмент переміщується на повільній швидкості, що, у свою чергу, збільшує складність оцінки ризику.

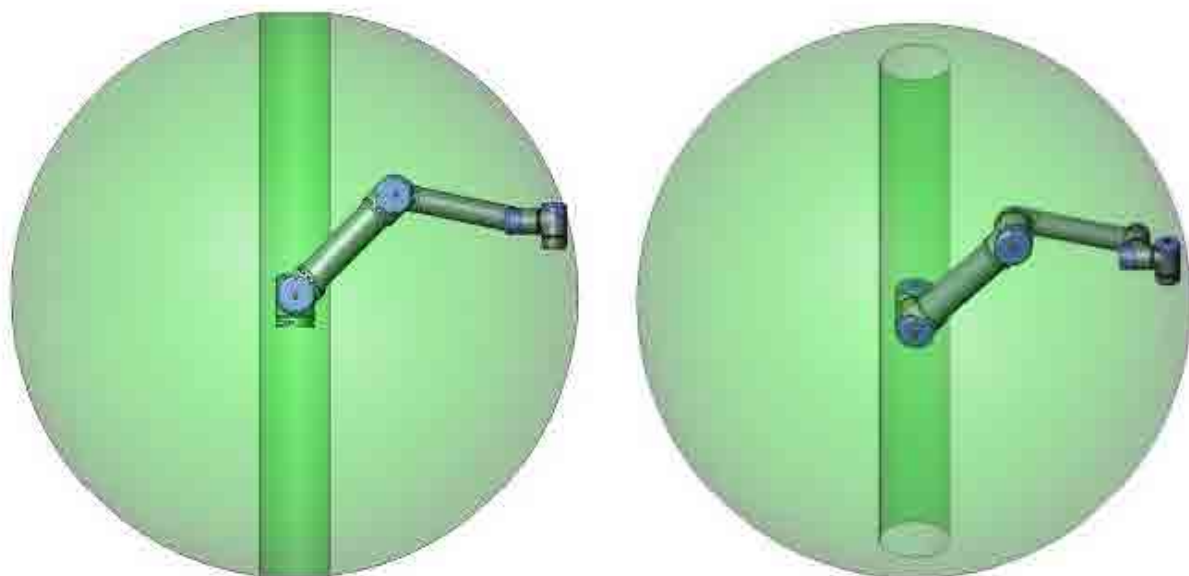


Рисунок 3.5 Зона безпечної роботи

Чотири гвинти М8 використовуються для кріплення робота до його основи, ці гвинти вставляються в чотири отвори 8,5 мм в основі робота. Ці болти ущільнювали із зусиллям 20 Нм. Для точного розміщення робота-маніпулятора використовувалися два отвори  $\varnothing 8$ , які вставлялися шпильками. Крім того, використовувався точний шаблон фундаменту. На рис. 3.6 показано розташування гвинтів, для яких необхідно просвердлити отвори. Положення робота підтримувалося твердою поверхнею, яка витримала максимум 10-кратний максимальний крутний момент основи, а також більшу вагу, яка принаймні в 5 разів перевищувала вагу маніпулятора. Крім того, поверхня повинна мати окремо стоїть конструкцію.

Якщо роботизована система розміщена на лінійній доріжці або платформі, яка рухається, база прискорення установки має бути низькою. Велике прискорення може призвести до зупинки робота через зіткнення з

перешкодою.

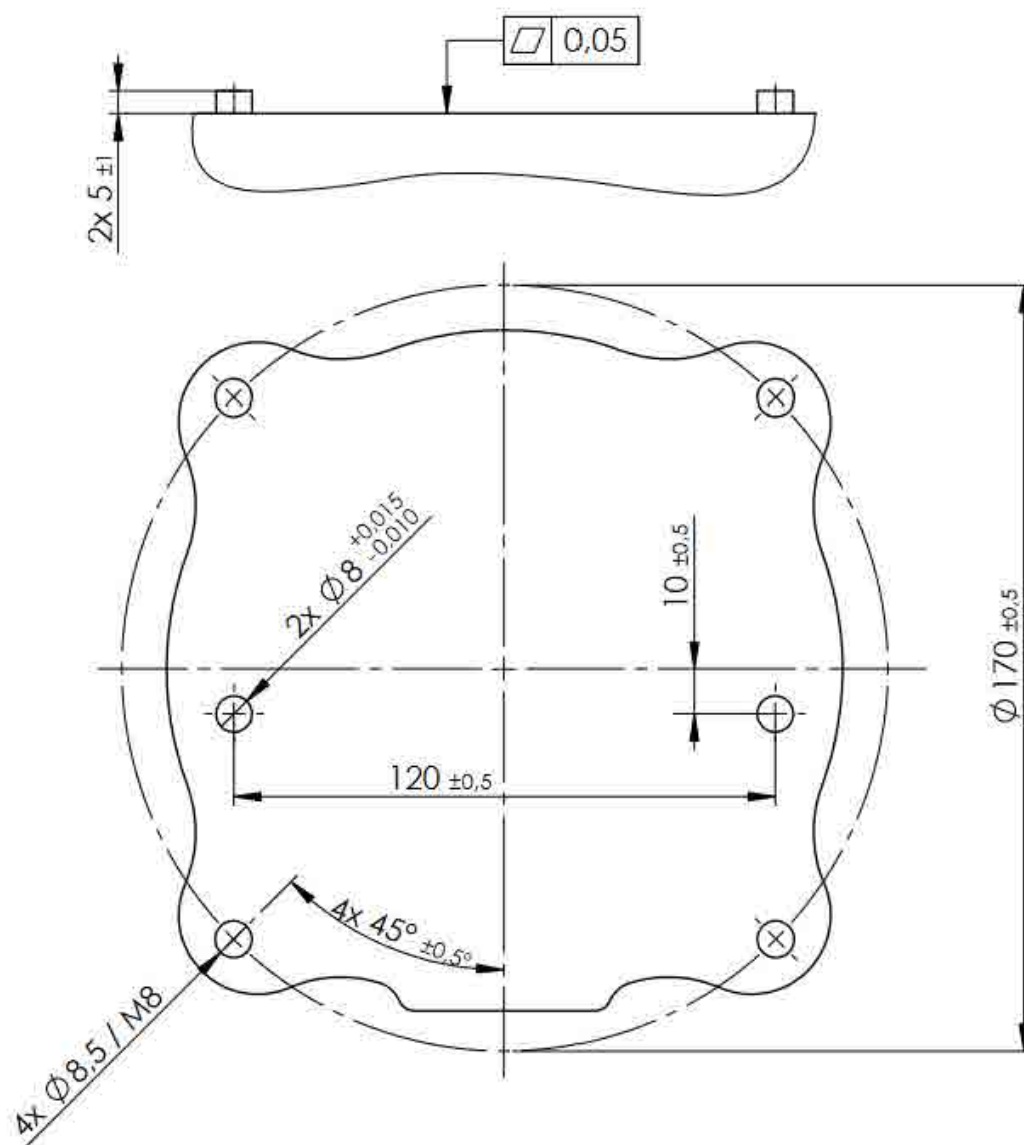


Рисунок 3.6 Контршаблон кріплення.

Система безпеки має два різних режими, які можна налаштувати: звичайний і обмежений. Для кожного з цих двох режимів можна визначити максимальні параметри безпеки. Обмежений режим є активним, якщо інструмент знаходиться за межами площини режиму, яка обмежена під час процесу запуску, або якщо його активовано настроюваним введенням.

З боку площин обмеженого режиму межа нормального режиму визначається під час активації, а 20-міліметрова область все ще використовується в обмеженому режимі. У разі переходу в обмежений



режим, викликаного активацією входу безпеки, тривалістю обох обмежень вважається 500 мс.

Якщо кордон безпеки порушено, необхідно перезапустити систему безпеки. Якщо система спочатку запускається в небезпечній зоні (наприклад, за межею шарнірного положення), використовується спеціальний режим відновлення (рис.3.5). У режимі відновлення реалізація роботизованих програм не підтримується, однак можна повернути роботизований маніпулятор на початковий діапазон за допомогою вільного режиму або переміщення в PolyScore.

Робот має кілька електричних компонентів і виходів, пов'язаних із безпекою. Усі електричні компоненти та виходи безпеки є двоканальними. Вони перебувають у безпечному режимі, який передбачає низький рівень сигналу, напр. Аварійна зупинка не працює при наявності високої напруги (24 В).

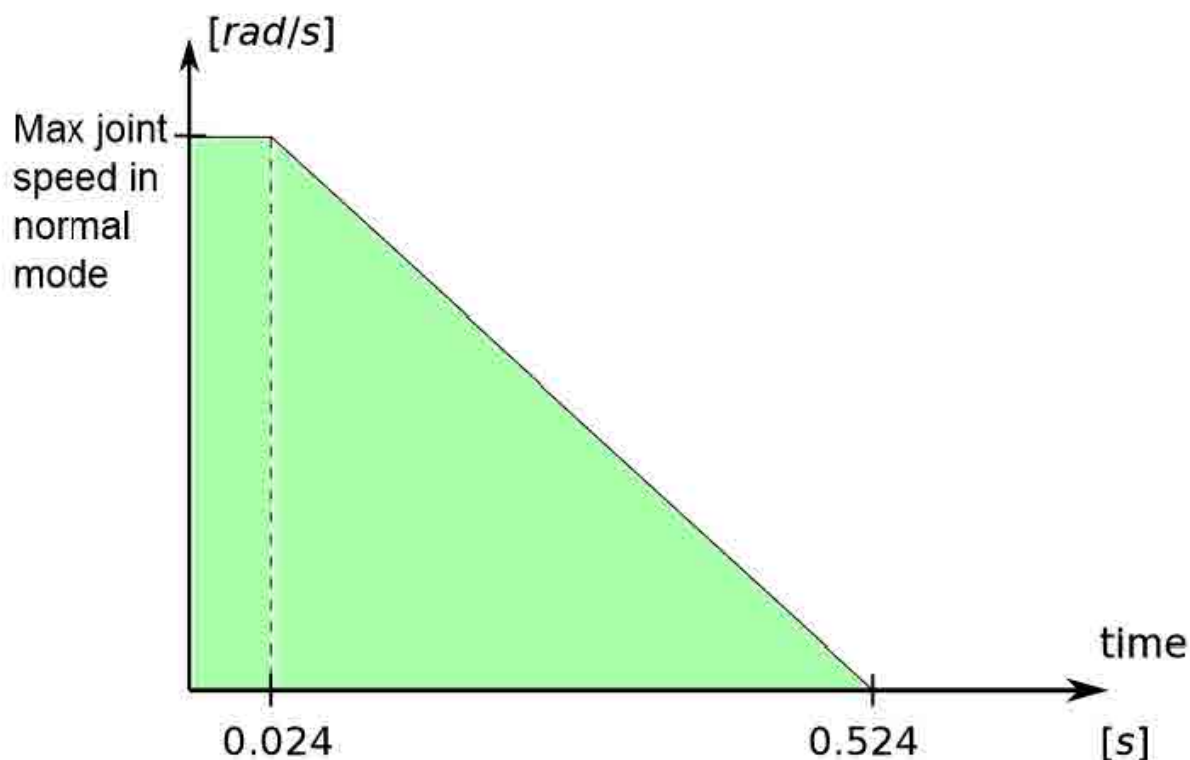


Рис. 3.5: Зелена зона зі схилом є обмеженням швидкості під час гальмування. У момент часу 0 подія (аварійна або безпечна зупинка) розпізнається процесором безпеки. Швидкість зменшується через 24 мс.

Зупинки категорій 1 і 2 уповільнюють рух робота з можливістю зупинити робота, не відхиляючись від поточного курсу.

Контроль над входами, пов'язаними з безпекою, і виявлення категорій зупинки 1 і 2 здійснюються системою безпеки.

1. Система безпеки перевіряє, чи активовано гальмо протягом 24 мілісекунд, дивіться малюнок 2.2.

2. У разі руху суглоба його швидкість регулюється так, щоб не перевищувати максимальну швидкість суглоба в нормальному режимі, що досягається постійним уповільненням від максимальної швидкості суглоба в 500 мс.

3. Якщо артикуляція не зайнята (її швидкість менше 0,2 рад/с), контролер буде більш ніж на 0,05 рад від положення, в якому виміряне значення швидкості виявилось нижчим за 0,2 рад/с.

Крім того, для зупинки Категорії 1 система безпеки перевіряє тривалість вимкнення живлення після зупинки маніпулятора робота. Після вхідного сигналу зупинки безпеки повторний рух маніпулятора дозволяється після проходження позитивного фронту на вході скидання безпеки. Якщо одна з наведених вище умов не виконується, система безпеки зупиниться після повороту на нуль градусів.

Як інструмент використовувався звичайний пальник FRONIUS, для його імітації була використана 3D-модель самого пальника (Рис.3.6).



Рис. 3.6. 3D модель пальника.

Симулював роботу робота та написав код для програми перед її використанням.

#### Калібрування нерухомого робота

Усі універсальні роботи постачаються з кінематичним методом калібрування, який є заводським.

Відхилення в складанні (наприклад, кількість гвинтів) і допуски на компоненти (наприклад, довжина труб) сприяють невеликим механічним помилкам.

Це може призвести до двох різних проблем.

Взаємозамінність: якщо вам потрібно обміняти одного робота на іншого, обом буде важко знайти кінець маніпулятора. Якщо автоматизований процес не в змозі терпіти значні зміни позиції (наприклад, це також стосується використання тієї самої програмної

платформи на різних маніпуляторах у кількох осередках з різними завданнями.

**Лінійність:** якщо роботизованій системі бракує знання про точний склад її компонентів, їй буде важко рухатися по прямій лінії з абсолютною точністю. Це може вплинути на додатки, які мають справу з лінійними рівняннями (наприклад, полірування, але це також може вплинути на додатки, які потребують точності в більшій області роботи, як-от отримання предметів із конвеєрної стрічки в положенні, визначеному ефект камери зазвичай менш значний, ніж заміненість.

В результаті універсальні роботи, які брущаті, будуються з певною конфігурацією кінематики.

Кінематичне калібрування — це процедура спостереження за всіма кутами та довжиною різних частин кобота, а також їх складання, і використання цієї інформації для компенсації механічних недоліків (рис. 3.7). Це означає, що коботи співпрацюватимуть з іншими коботами для визначення положення кінцевого інструменту маніпулятора та рухатимуться з більшою точністю по прямій лінії.

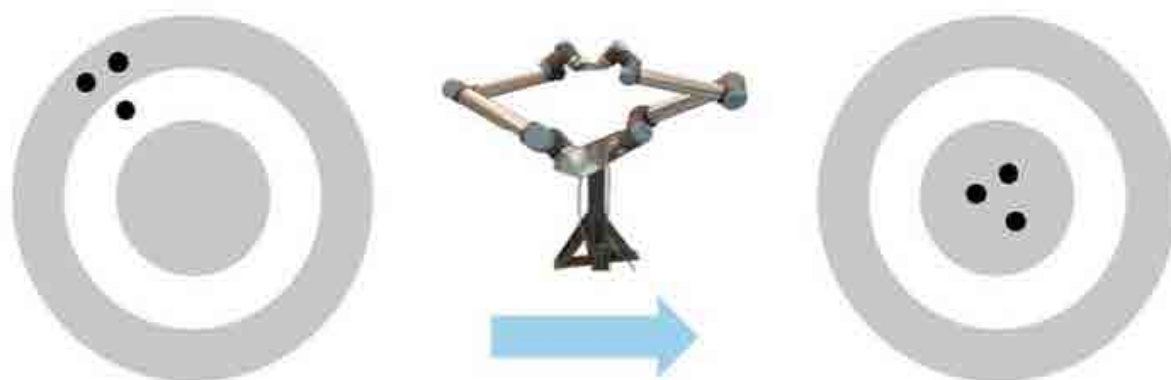


Рисунок 3.7. Кінематичне калібрування.

Калібрування відносних положень виконується за традиційним методом (див. рис. 3.8).



Рисунок 3.8. Роботизована платформа розташовується на плоскій поверхні з простором для вирівнювання фланця роботизованого інструменту..

Важливо розуміти, що не всі калібрування є ефективними. Перед калібруванням важливо звернути увагу на згенеровану статистику перед збереженням результатів калібрування. Якщо процес калібрування виконується без належного догляду, це може призвести до великої кількості неточностей у роботі.

Метод заснований на вірі в те, що можна розташувати інструмент у кількох різних орієнтаціях, коли фланець інструмента перпендикулярний до площини. Традиційно використовувалася суцільна пластина, яка мала отвори у визначених місцях, які можна було використовувати для прикріплення інструментів до фланців, як показано в 3.8.

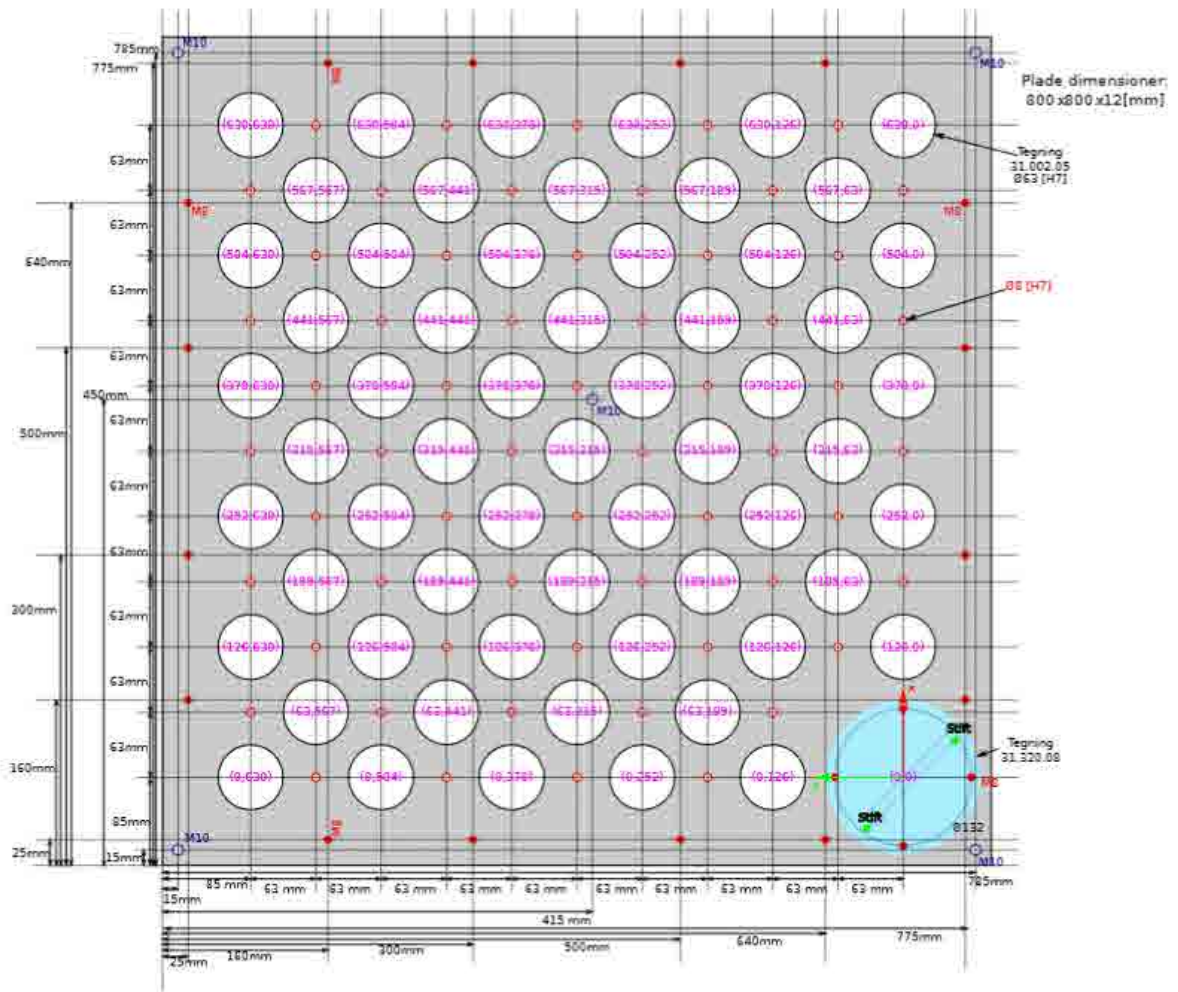


Рисунок 3.9 Калібрувальна дошка – тверда пластина з попередньо визначеними отворами, яку можна використовувати для підтримки фланця інструменту.

Кінематичні перетворення робіт, специфічні для кожної ланки, описуються параметрами Денавіта-Хартенберга. Специфікації для UR10 наведено на малюнку 3.10.

	$\theta$ [rad]	$a$ [m]	$d$ [m]	$\alpha$ [rad]
Joint 1:	0	0	0.118	$\frac{\pi}{2}$
Joint 2:	0	-0.6127	0	0
Joint 3:	0	-0.5716	0	0
Joint 4:	0	0	0.1639	$\frac{\pi}{2}$
Joint 5:	0	0	0.1157	$-\frac{\pi}{2}$
Joint 6:	0	0	0.0922	0

Рисунок 3.10 Параметри Денавіта-Гартенберга

Щоб робот був більш точним, спочатку потрібно увійти в «Експертний режим» на екрані контролера, натиснувши кнопку «Кінематичне калібрування». Це створює нову вкладку під назвою «Калібрування», яка зазвичай використовується в програмному забезпеченні з налаштуваннями за замовчуванням. На цій сторінці доступні три екземпляри.

Виправлення протоколу. Процедура зміни програм у відповідь на заміну суглоба або всієї робототехнічної системи.

Використання роботів для автоматизації повторюваних процесів. Калібрування робота базується на відомих місцях на пластинах. Цю кнопку необхідно активувати, щоб розпочати процес калібрування.

Завантажте попереднє калібрування. Дозволяє завантажити попереднє записане калібрування.

Кілька різних металевих пластин можна використовувати з кількома отворами. Отвори служать засобом утримання інструменту в певному положенні на обраній пластині. Ви повинні додати нову табличку, щоб почати додавати позиції.

Порядок вжиття заходів такий:

Додайте першу табличку з пробілами.

Додайте нову позицію до вибраної пластини, натиснувши «Додати нову позицію».

Надішліть координати (x,y,z) відносно таблички для позиції. Переміщуємо відповідну конфігурацію робототехнічної системи, натиснувши на «Навчити нову посадку».

Ми вказуємо машині правильну позицію, і вона натискає «ОК», щоб завершити одну позицію. Щоб додати нову позицію до міксу, натисніть «Додати нову позицію».

Ми повторюємо процес, поки не буде додано достатню кількість елементів.

Перед початком калібрування важливо знову зберегти зібрану інформацію. Це робиться клацанням у верхньому лівому куті диска. Функція збереження програм у меню файлів не призначена для збереження програм роботів, натомість вона використовується для програмування дій роботів.

Налаштування, що використовуються під час калібрування, максимально розподілені як на пластині, так і в просторі роботів. Важливо переконатися, що використовуються всі можливі комбінації рішень для підняття або опускання ліктя та зап'ястка, див. рис.3.11.

Рекомендується, щоб усі повні калібрування мали принаймні 30 позицій на кожній пластині. Щоб додати нову табличку, потрібно спочатку вибрати «Позиції» у верхній частині дерева зліва, а потім виконати кроки з пункту 3.



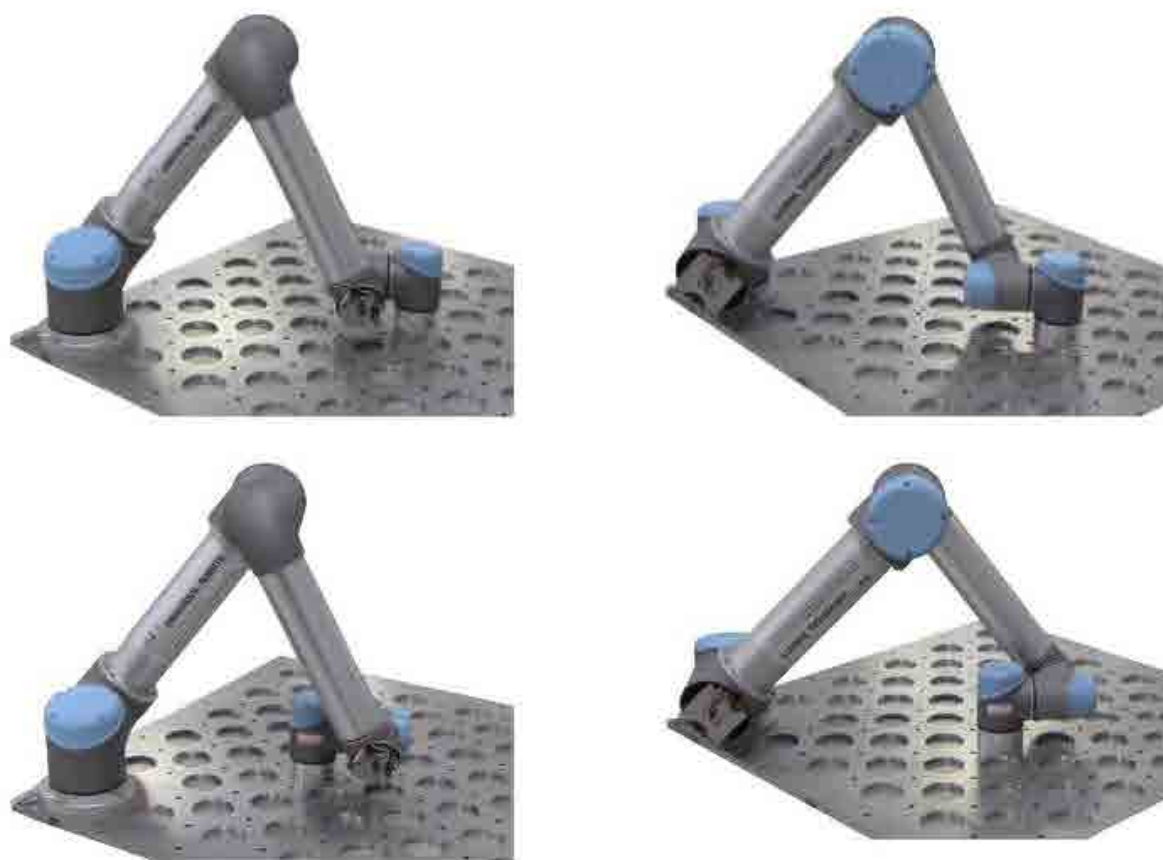


Рисунок 3.11 Калібрування

Після цього в дерево були додані всі необхідні станції для калібрування. Зазвичай на одній страві використовують 26 позицій.

Використовується для вибору лівої сторони дерева «Позиції» для вибору рівня калібрування.

Кути зсуву призначені для плеча, ліктя, зап'ястя 1 і зап'ястя 2. Процедура не має достатньо інформації для налаштування основи та зап'ястя.

Універсальний робот-маніпулятор - це маніпулятор, який складається зі сферичних частин і з'єднань. Загальні назви з'єднань зображені на 3.12. Основа – це місце установки робота, а інструмент, пов'язаний з протилежним кінцем (зап'ястя 3), прикріплюється до неї. Координація рухів кожного з артикуляцій забезпечує необмежений рух інструменту, за винятком ділянки, яка знаходиться строго над і під основою. Poly Score — це графічний інтерфейс користувача, який

полегшує керування роботом-маніпулятором і блоком керування, виконання програм і створення нових.

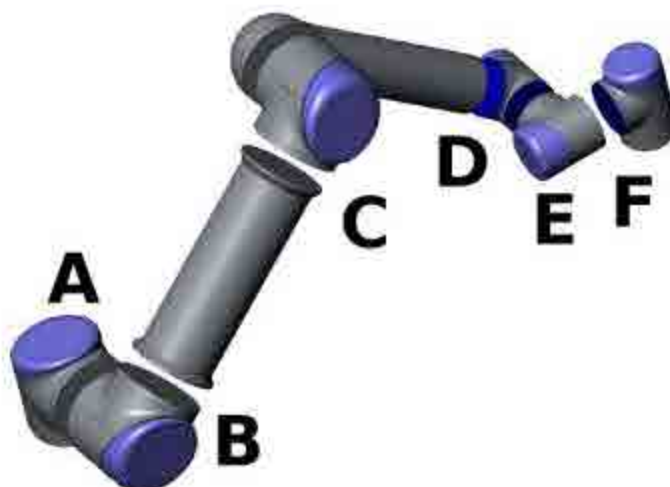


Рисунок 3.12 Зчленування робота.

На частковому рівні більше параметрів призначено для врахування розбіжностей, крім початкових кутів зміщення. Це не повномасштабне калібрування, але воно максимально наближене до нього.

Калібрування ініціюється на вкладці «Калібрування», після чого натискається кнопка «Виконати калібрування».

Після завершення калібрування необхідно оцінити результати, щоб визначити, чи було калібрування ефективним.

Результатами калібрування є показники, які відображаються на вкладці «Огляд параметрів», а також оцінена точність архівних даних для конкретних позицій. Остаточна частина відображається в нижній частині екрана контролера та зображена на малюнку 3.11, вона використовується для оцінки калібрування.

```

1 #####
2 I:      118
3 m:      0.000292995
4 Measurement data[20] error:
5 Mean:   pos[m] ( 0.000175164, 0.000134324, 0.00027655 ) rot[rad] ( 0.00348157 )
6 StdDev: pos[m] ( 0.000218127, 0.000201774, 0.000344546 ) rot[rad] ( 0.00428109 )
7 Max:    pos[m] ( 0.000518104, 0.000596791, 0.000853992 ) rot[rad] ( 0.00936474 )
8 Q range: [ 10.3565, 2.10395, 4.97534, 4.41847, 6.28554, 0.478753 ]
9 Evaluation data[6] error:
10 Mean:   pos[m] ( 0.000171146, 0.00019818, 0.000210623 ) rot[rad] ( 0.00212999 )
11 StdDev: pos[m] ( 0.000221324, 0.00023433, 0.000267463 ) rot[rad] ( 0.00274118 )
12 Max:    pos[m] ( 0.000405676, 0.000459457, 0.000443527 ) rot[rad] ( 0.00568077 )
13 Q range: [ 10.4986, 1.73156, 4.66844, 4.85263, 3.14473, 0.479093 ]

```

Рисунок 3.13 Приклад статистичних результатів калібрування

Розраховані середні значення розділені на категорії. Статистичні дані, пов'язані з елементами, які використовуються під час калібрування, називаються даними вимірювання, тоді як статистичні дані, пов'язані з елементами, зарезервованими для оцінки, називаються оціночними даними. Ці дані використовуються для оцінки результатів калібрування.

Пояснення порядкового номера його цифрами:

Цей рядок використовується для сигналізації про те, що калібрування триває. Незначний.

2 Використані ітерації для пошуку рішення. Це не має значення.

Сума залишкової похибки, пов'язаної з калібруванням.

4-8 призначені для позицій, які використовуються для калібрування. У цьому випадку калібрування базується на 20 різних положеннях.

9-13 - позиції, які тільки статично оцінюються. У даному випадку шість позицій. Якщо оцінені результати суттєво відрізняються від вимірних значень, калібрування не вдалося, і позиції необхідно перевірити.

5 і 10 демонструють типову помилку. Перша помилка – це помилка положення як вектор  $(x,y,z)$ , а друга – помилка обертання.

6 і 11 демонструють типове відхилення похибки, виражене як середня похибка.

7 і 12 демонструють найбільшу похибку в даних, яка представлена середньою похибкою.

8 і 13 демонструють різноманітність використовуваних роботів. Значення діапазону можуть дати загальне уявлення про ступінь розповсюдження конфігурацій.

Крім того, надруковані числа зберігаються у файлі `calibration.log`.

Корекція програми.

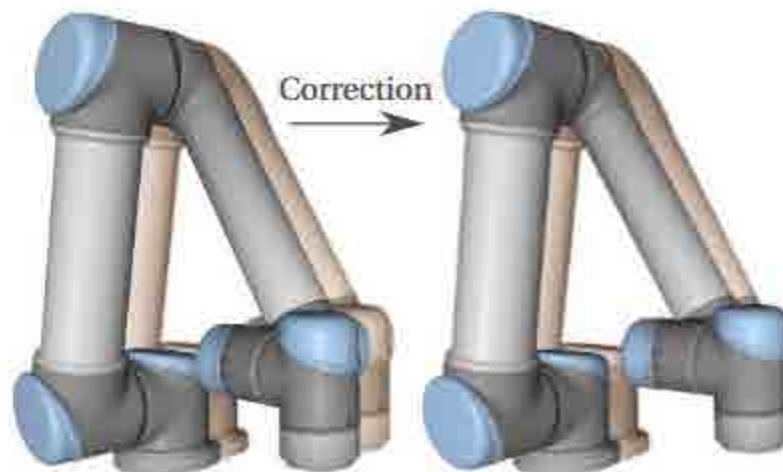


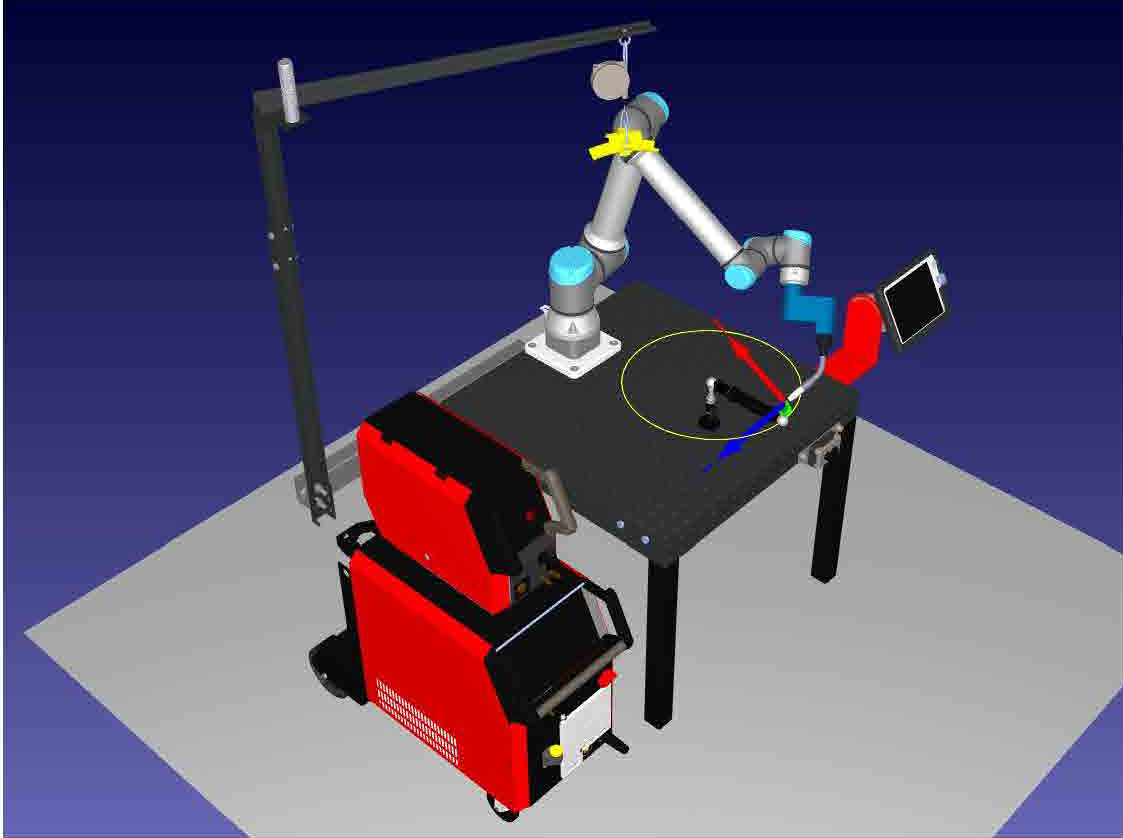
Рисунок 3.14 Результат калібрування

Вибравши та перевизначивши відповідні ключові точки, можна побудувати модель, яка описує різницю між старою та новою робототехнічною системою, цю модель можна використовувати для усунення несправностей програм. Модель присвячена кожному конкретному інсталяційному файлу для роботів. Ключові моменти унікальні для кожної моделі. Коли модель створена, програми змінюються під час доступу. Модель можна розширити/поліпшити в будь-який час, додавши більше важливих моментів.

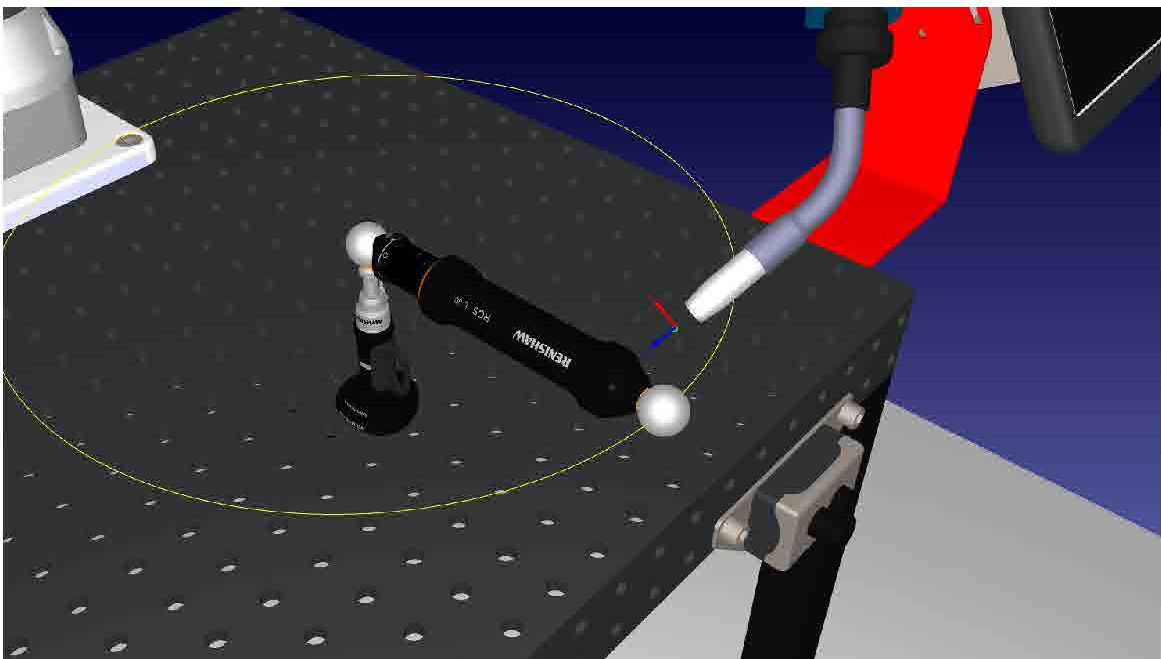
Як правило, на якість моделі впливає кількість значущих точок і ступінь їх детермінації. Якщо потрібна додаткова корекція, модель можна вдосконалити, додавши додаткові ключові моменти пізніше.

Точність виправленого шляху залежить від якості моделі та відстані до найближчого основного шляху.

Калібрування робота було виконано в лабораторії програмного забезпечення, присвяченій моделюванню роботів (рис.3.15).



а)





б)




Рисунок 3.15 Калібрування робота

UR10e panel



Name:  Parameters




### Cartesian Jog

Tool Frame  Lorch LMR 450 W Weld Torch with respect to robot flange 

[X,Y,Z]mm | Rot[u,v,w] deg - UR (deg)   




0.000 -1.831 428.169 -45.000 0.000 0.000

Reference Frame  UR10e Base with respect to robot base 


[X,Y,Z]mm | Rot[u,v,w] deg - UR (deg)   

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

### Tool Frame with respect to Reference Frame

[X,Y,Z]mm | Rot[u,v,w] deg - UR (deg)   


895.000 0.000 65.000 -54.126 171.665 0.000

Tool Frame 

X Y Z

Translation

Rotation



Workspace

Do not show

Show for wrist center

Show for robot flange

Show for current tool

Show Frames

All/None  Base (0)



Tool Frame  Robot Flange

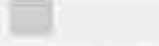
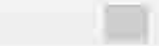
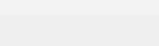



Ref. Frame

1  2  3

4  5  6

### Joint axis jog

  Align Home

$\theta_1$ :	<input type="text" value="-168.35"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0
$\theta_2$ :	<input type="text" value="-73.73"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0
$\theta_3$ :	<input type="text" value="113.31"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0
$\theta_4$ :	<input type="text" value="-151.21"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0
$\theta_5$ :	<input type="text" value="-130.48"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0
$\theta_6$ :	<input type="text" value="58.59"/>	$^{\circ}$ -360.0 <		> 360.0

### Other configurations ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$ ) More options


(\*)-[-168.35°, -73.73°, 113.31°, -151.21°, -130.48°, 58.59°] 

Рисунок 3.16 Налаштування осей

```

67
68 # Main program:
69 # Program generated by RoboDK v5.6.7 for UR10e on 20/06/2024 08:30:54
70 # Using nominal kinematics.
71 blend_radius_m = 0.001
72 ref_frame = p[0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000]
73 set_tcp(p[0.000000, -0.001831, 0.428169, -0.785398, -0.000000, -0.000000])
74 movej([-2.938349, -1.286830, 1.977685, -2.639077, -2.277288, 1.022573], accel_radss, speed_rads, 0, 0)
75 popup("Robot is at start position. Continue when ballbar is ready", "Message", False, False, blocking=False)
76 halt() # reimplement this function to force stop
77 movel(pose_trans(ref_frame, p[0.896500, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
78 sleep(1.000)
79 movel(pose_trans(ref_frame, p[0.895000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
80 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.752500, -0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.752500, -0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
81 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.325000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.325000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
82 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.752500, 0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.752500, 0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
83 sleep(1.000)
84 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.752500, 0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.752500, 0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
85 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.325000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.325000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
86 movec(pose_trans(ref_frame, p[0.752500, -0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), pose_trans(ref_frame, p[0.752500, -0.246817, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
87 movel(pose_trans(ref_frame, p[0.896500, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
88 sleep(1.000)
89 movel(pose_trans(ref_frame, p[0.895000, 0.000000, 0.065000, -0.944695, 2.996189, 0.000000]), accel_mss, speed_ms, 0)
90 popup("Test done.", "Message", False, False, blocking=False)

```

Рисунок 3.17. Фрагмент розробленої програми



Рисунок 3.18 – Загальний вигляд після нанесення.

Мікроструктуру нанесеного шару оцінювали методом мікрорентгеноспектральної структуроскопії (рисунок 3.19).

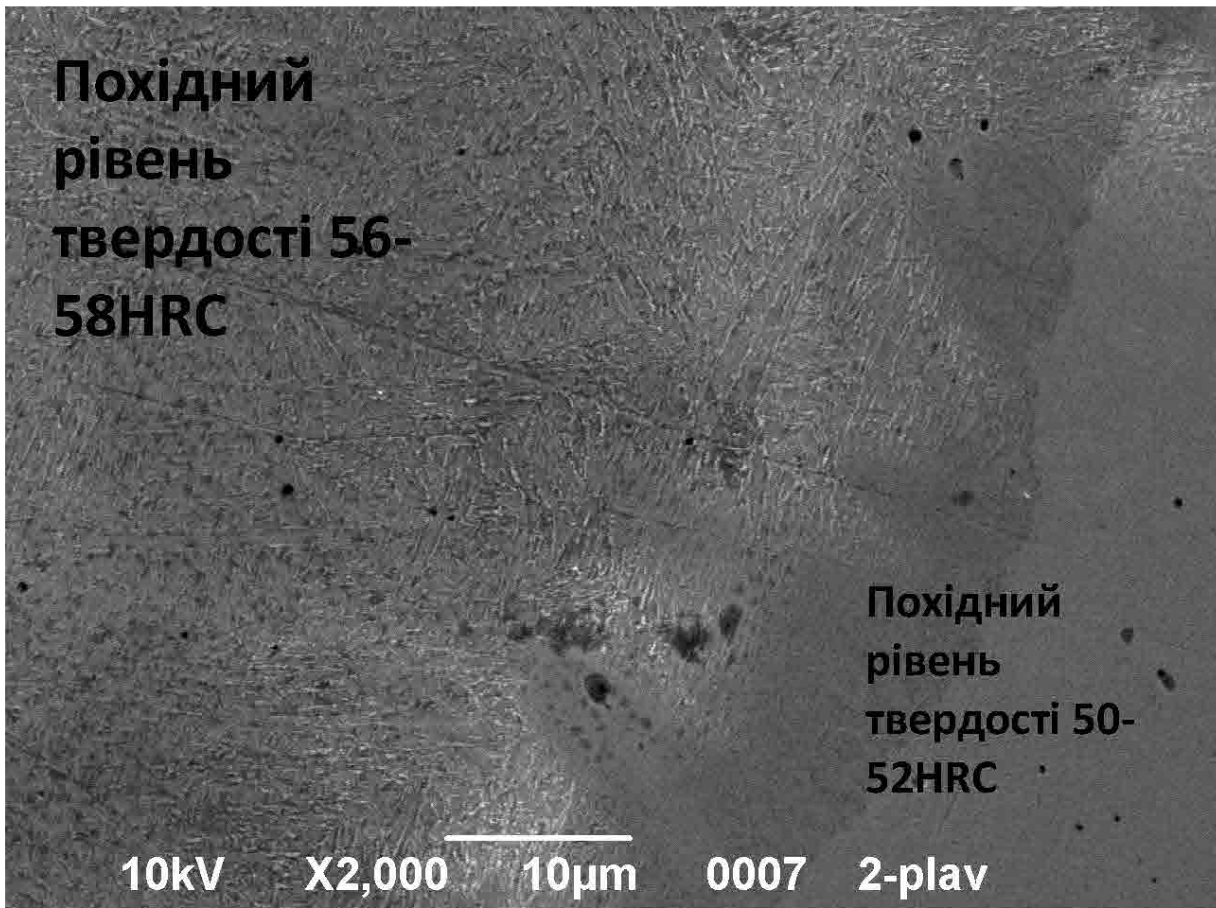


Рисунок 3.19 – Загальний вигляд лапи культиватора, після нанесення зносостійкого покриття .

Документально підтверджено, що застосування запропонованого матеріалу для нанесення зносостійкого покриття в поєднанні з технологією використання роботизованої машини для нанесення покриттів УР-10 забезпечує високу якість зварювальної зони та підвищену твердість.



## ВИСНОВКИ

1. Запропоновано спосіб нанесення зносостійкого покриття з вмістом хрому не більше 13% і формування структури з дрібнозернистого легованого мартенситу і дисперсно розміщених карбідів хрому різної форми.

Для нанесення покриття використовувався метод холодного зварювання; цей спосіб дозволив досягти мінімізації площі термічного впливу на тонкій частині, яка була оснащена лапою культиватора, товщиною 0,25-0,35 мм.

Для підвищення ефективності процесу під час проектування розглядається потенційне використання робота UR-10. Створено калібрування машини, її відтворення та програму повторного використання.

Розглянуто мікроструктуру та властивості запропонованого покриття. Запропонований спосіб сприяв підвищенню твердості наплавленого шару з 50-52HRC до 56-58HRC.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каденко В.С. Аналіз методів підвищення довговічності ґрунтообробних органів машин / В.С. Каденко // Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ, Вип. 145. – Харків, 2014. – С. 144-148.
2. Борак К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових знарядь методом електроерозійної обробки: автореф. дис.канд.техн.наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / К.В.Борак. – Житомир. – 2012. – 19 с.
3. Василенко М. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні і відновленні робочих органів / М.Василенко //Техніка АПК – К.: 2008. - №1. – С.29-31.
4. Цмоць І. Г. Вдосконалення системи управління мобільною робототехнічною системою / І. Г. Цмоць, Р. О. Ткаченко, І. Є. Ваврук // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 67. - С. 158-162
5. Пукач А. І. Розроблення моделі на основі мереж Петрі для системи проектування мобільних робототехнічних систем / А. І. Пукач, В. М. Теслюк // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 69. - С. 101-108.
6. Z. Wang, “An imaging and measurement system for robust reconstruction of weld pool during arc welding,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, vol. 62, no. 8, pp.5109-5118.
7. Цмоць І. Г. Оцінювання складності методу управління робототехнічною системою на базі нечіткої логіки за кількістю операцій / І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк, І. Є. Ваврук // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 69. - С. 114-119.

8. D You, X Gao, S Katayama. "WPD-PCA-based laser welding process monitoring and defects diagnosis by using FNN and SVM," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, vol. 62, no. 1, pp. 628-636.
9. Цимбал О. М. Адаптивні процеси у завданнях робототехніки / О. М. Цимбал, А. І. Бронніков // Системи обробки інформації. - 2012. - Вип. 3(1). - С. 68-73.
10. M. Dinham, G. Fang, "Autonomous weld seam identification and localisation using eye-in-hand stereo vision for robotic arc welding," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2013, vol. 29, no. 5, pp.288-301.
11. Y, Shi F , T. Lin , et al. "Efficient weld seam detection for robotic welding based on local image processing," *Industrial Robot: An International Journal*, 2009, vol. 36, no. 3,, pp. 277-283.
12. H. Zhang, X. Ding, M. Chen, et al. "The seam tracking system for submerged arc welding," *Robotic Welding, Intelligence and Automation*. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
13. L. H. Sharif, S. Yamane, Y. Hino, et al. "Sensing and digital control of weld pool with visual welding robot," *Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2000.
14. S. B. Chen, D. B. Zhao, Y. J. Lou , et al. "Computer vision sensing and intelligent control of welding pool dynamics," *Robotic Welding, Intelligence and Automation*. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
15. X. Li, M. O. Khyam, et al. "Robust welding seam tracking and recognition," *IEEE Sensors Journal*, 2017, vol. 17, no. 17, pp.5609-5617.
16. S. Gu and Y. Shi, "Image processing and weld deviation recognition of robotic deep penetration TIG welding," in *Proc. 2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, Honolulu, HI, 2017, pp. 243-248.
17. G. Yanfeng , Z. Hua , M. Zhiwei , et al." Predictive fuzzy control for a mobile welding robot seam tracking," *World Congress on Intelligent Control & Automation*. IEEE, 2008.

18. R. H. Hu, K. L. Tu, Zhang H, et al. "The application of fuzzy control in underwater welding seam-tracking system," International Conference on Fuzzy Systems & Knowledge Discovery. IEEE, 2010.
19. Z/ Mao, J/ Pan, H/ Zhang, "Mobile welding robot system based on rotating arc sensor applied for large fillet welding seam tracking," Sixth International Conference on Natural Computation. IEEE, 2010.
20. L Fengling, C. Shanben "A visual sensing system for welding control and seam tracking in aluminum alloy gas tungsten arc welding," Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2008.
21. Y. Zou, Y. Li, L. Jiang, et al. "Weld pool image processing algorithm for seam tracking of welding robot," Industrial Electronics & Applications. IEEE, 2011.
22. X. Li , S. Ge , et al. "Automatic welding seam tracking and identification," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, pp. 1-1.
23. X. D. Gao, "Detection of weld position and seam tracking based on Kalman filtering of weld pool images," Journal of Manufacturing Systems, 2005, vol. 24, no.1, pp.1-12.
24. K. S. Kim , C. H. Jung , I. S. Chang, et al. "Development of remote welding system using fiber laser," Materials Science Forum, 2008, 580-582:511-514.
25. E. Cecilia. Garcia, Ricardo Carelli, Jose F. Postigo, Carlos Soria, et al. Supervisory control for a telerobotic system: A hybrid control approach," Control Engineering Practice, 2003, vol. 11, no. 7, pp.805-817.
26. M. Hou, S. H. Yeo, L. Wu, et al. "On teleoperation of an arc welding robotic system," IEEE International Conference on Robotics & Automation. IEEE, 1996.
27. J. E. Agapakis, K. Masubuchi, "Remotely Manipulated And Autonomous Robotic Welding Fabrication In Space," Space Station Automation I. 1985.

28. H. Li, H. Gao, W. Lin, "Supervisory Control of Telerobotic System for Remote Welding," IEEE International Conference on Integration Technology. 2007.
29. B. Fu, W. Seidelman, Y. Liu, et al. "Towards virtualized welding: Visualization and monitoring of remote welding," IEEE International Conference on Multimedia & Expo. IEEE, 2014.
30. Y. Hiroi, K. Obata, K. Suzuki, et al. [POSTER] Remote welding robot manipulation using multi-view images [C]// IEEE International Symposium on Mixed & Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2015.
31. Q. X. Q. Xi, J. X. D. J. X. Dong, "Stereo visual image matching in remote welding," International Conference on Electric Information & Control Engineering. IEEE, 2011.
32. Z. Yu-Long, C. Heng, H. Jing-Feng and W. Jin-Cheng, "Design and Implementation of Remote Monitoring System for Welding Machines Based on Web," 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Xi'an, 2018, pp. 1671-1675.
33. S. Hua, W. Lin, G. Hongming, "Remote welding robot system," International Workshop on Robot Motion & Control. IEEE, 2004.
34. L. Gao, Zhang, et al. "Investigation on Human-Simulation Intelligent Control of the Touch Force in Remote Welding Teleteaching," International Conference on Innovative Computing. IEEE, 2006.
35. C. Kim, J. Kim, Lim H, et al. "Investigation of laser remote welding using disc laser," Journal of Materials Processing Technology, 2008, 201(1-3):521-525.
36. G. Tsoukantas, G. Chryssolouris, "Theoretical and experimental analysis of the remote welding process on thin, lap-joined AISI 304 sheets," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 35(9-10):880-894.

38. J. Hatwig, G. Reinhart , M. F. Zaeh . “Automated task planning for industrial robots and laser scanners for remote laser beam welding and cutting,” *Production Engineering*, 2010, 4(4):327-332.

39. H. Shen, “Research on the off-line programming system of six degree of freedom robot in vehicle door welding based on UG,” *International Conference on Mechatronics & Machine Vision in Practice*. IEEE, 2017.

40. M. Bruccoleri, D’Onofrio C, U. L. Commare. “Off-line Programming and simulation for automatic robot control software generation,” *IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2007.

41. C Kim, K Hong, H Han. “PC-based off-line programming using VRML for welding robots in shipbuilding.” *IEEE Conference on Robotics, Automation & Mechatronics*. IEEE, 2004.

42. E I Konukseven, A Abidi. *Development of man machine interface software for an industrial robot [J]*. 2004.

43. U Berger, R Lepratti, M May. “An approach for the automatic generation of robot paths from CAD-data,” *Emerging Technologies and Factory Automation*, 2005. ETFA 2005. 10th IEEE Conference on. IEEE, 2005.

44. W Li-Qi, C Guo-Guang. “Off-line simulation of robot welding of radar pedestal,” *Journal of English Edition of Chongqing University*, 2017(16):92.

45. C. Huan-Ming, Zhen-Yu X, Pin L. “Design and Implementation of the Off-line Programming System for Arc Welding Robot,” *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2008.

46. Y Liu, J Yang. “Off-line programming system of arc welding robot-WROBCAM,” *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2005.

47. M. Zhang, L. Y. Li, T. Q. Wang. "An off-line programming simulation of offshore jacket platforms arc robot based on SolidWorks," *Jouranal of Shanghai Jiaotong University*, 2008.

48. H. E. Guang-Zhong, G. Hong-Ming, Z. Guang-Jun, et al. "Coordinated motion simulation in a robot arc off-line programming system," *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2005.

49. K. Yan-Jun, Z. Deng-Lin, C. Jun-Wei. "Study on coordinative motion of arc-robot and positioner," *Electric Welding Machine*, 2005.

50. B. Zhou, L. Xu, Z Meng, et al. "Kinematic cooperated welding trajectory planning for master-slave multi-robot systems," *Control Conference. IEEE*, 2016.

51. Yahui, Xianzhong "Kinematic cooperation analysis and trajectory teaching in multiple robots system for welding," *Emerging Technologies & Factory Automation. IEEE*, 2011.

52. T. Zhang, F. Ouyang. "Offline motion planning and simulation of two-robot welding coordination," *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 81-92.

53. L. Wu, K. Cui, S. B.. Chen, "Redundancy coordination of multiple robotic devices for welding through genetic algorithm," *Robotica*, 2000, vol. 18, no. 6, pp.669-676.

54. M. Shi, D. Xianzhong, G. Yahui, "Path constraint relation and trajectory teaching method for multi-robot cooperation system," *Robot*, 2012, vol. 34, no. 5, p.546.

55. C. Yang, S. Chen. "Survey on modeling and controlling of welding robot systems based on multi-agent," *Robotic Welding, Intelligence and Automation. Springer Berlin Heidelberg*, 2011.