

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 ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБІВ З
ОЦІНКОЮ ДЕФЕКТІВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ЗОРУ
В УМОВАХ ТЗОВ «NG METALL»**

Виконав: студент 6 курсу, групи Маш-63

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Володимир ПАНЬКІВ
(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.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Паньківу Володимирі Ігоревичу

1. Тема роботи: **«Дослідження процесів зварювання виробів з оцінкою дефектів методами машинного зору в умовах ТзОВ «NG Metall»**

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. Теоретичні основи автоматизації процесів зварювання з використанням промислових роботів;

2. Обґрунтування, вибір та реалізація інструментарію;

3. Використання роботів KUKA для збирання та зварювання рами плазмовим зварюванням;

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;

5. Визначення ефективності використання зварювальних роботів

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 автоматизації робототехніки для зварювання; інтенсивність досліджень; загальний вигляд поста збирання та 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	Власовець В.М. д.т.н., проф. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.С., к.т.н., доцент кафедри			

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: «Теоретичні основи автоматизації процесів зварювання з використанням промислових роботів»</i>	<i>12.09.24- 26.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Обґрунтування, вибір та реалізація інструментарію»</i>	<i>27.09.24- 16.10.24</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Використання роботів KUKA для збирання та плазмового зварювання рами»</i>	<i>17.10.24- 05.11.24</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>06.11.24- 18.11.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Визначення ефективності використання зварювальних роботів»</i>	<i>19.11.24- 27.11.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>28.11.24- 06.12.24</i>	

Студент _____
(підпис)

Володимир ПАНЬКІВ

Керівник роботи _____
(підпис)

Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

УДК 631.332

Дослідження процесів зварювання виробів з оцінкою дефектів методами машинного зору в умовах ТзОВ «NG Metall.

Паньків В І. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

71с. текст. част., 15 рис., 2 табл., 54 джерела інформації.

Мета роботи: підвищити довговічність деталей з використанням висококонцентрованих джерел енергії з використанням промислового робота.

Для досягнення основної мети роботи було виконано наступні завдання:

- оцінити особливості використання роботів для зварювання;
- перевірити можливість плазмового зварювання рами з використанням зварювального робота;
- встановити напрямки подальшого підвищення ефективності процесів.

ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ	8
1.1. Використання зварювальних роботів та машинного зору	8
1.2 Автоматизація процесів сприйняття глибини на основі машинного зору	16
1.3 Датчики зварювання в промисловому застосуванні	23
1.4. Стан досліджень	25
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ	31
2.1. Устаткування для зварювання	31
2.2. Використання машинного зору	37
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ КУКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ РАМИ	42
3.1. Процес збирання	42
3.2 Процес плазмового зварювання	46
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
4.1 Охорона праці при використанні промислових роботів	52
4.2 Безпека у надзвичайних умовах	54
РОЗДІЛ 5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ	57
ВИСНОВКИ	64
Список використаних джерел	65

ВСТУП

Переваги зварювання за допомогою промислових роботів можна підсумувати, як зазначено нижче. Роботи, як автоматизовані машини, можуть працювати безперервно; тому вони, як правило, збільшують загальну продуктивність зварювання. Автоматизовані системи зазвичай виконують зварювання на вищих швидкостях, ніж ручне зварювання, щоб скоротити тривалість циклу зі збільшенням продуктивності.

Це складатиметься із зварювальних операцій, які забезпечуватимуть постійну якість зварного шва шляхом контролю параметрів зварювання, тим самим зменшуючи варіації, які можна знайти під час ручного зварювання. Наприклад, якщо всі деталі повинні бути однакової якості, автоматизована система може зварити ці деталі безперервним зварюванням.

Автоматизація мінімізує витрати на робочу силу, оскільки потрібно менше ручної праці. Підвищення точності та стабільності завжди означає менше дефектів і, у свою чергу, менше переробок, що призводить до менших матеріальних відходів і менших витрат, які були ініційовані уникненням початкових відходів загалом.

Оптимізовано автоматизовані системи зварювання; вони споживають мало енергії і, як наслідок, дешевші в експлуатації. Робот може працювати в місцях, де, якби там працювали люди, це було б небезпечно, наприклад, високі температури або токсичні пари.

Це зменшує вплив зварювальних парів на працівників і загалом безпеки, тим самим зменшуючи кількість нещасних випадків. Сучасний зварювальний апарат дуже гнучкий; його можна налаштувати для виконання надзвичайно різноманітного набору зварювальних функцій для задоволення потреб різних проектів і виробництв.

Кілька роботів можуть одночасно обробляти різні частини заготовки або кілька подібних заготовок. Легко досягається швидка реконфігурація

для переходу на інші продукти; це включає процес зварювання для підвищення гнучкості.

Автоматизоване зварювання, на додаток до обробки матеріалів і контролю якості, формує повну ефективну лінію. Тепер ваші кваліфіковані зварювальники можуть стати експертами у складніших і життєво важливих проблемах замість того, щоб просто з'єднувати два шматки металу знову і знову. Ці висококваліфіковані працівники тепер можуть витратити свій час на знайомство з усіма тонкощами та тонкощами виробництва, а також дізнаватися про нові технології, які надходять на фабрику, і розширювати базу знань для всієї робочої сили. Дані моніторингу параметрів і продуктивності зварювання в реальному часі будуть отримані за допомогою датчиків і моніторингу, вбудованих в автоматизовані системи. Інформація, отримана в результаті такого аналізу, забезпечує детальну інформацію про справність обладнання для точних засобів захисту. Набагато потужнішим підходом є здатність виявляти проблеми з якістю з найменшої нитки зміни параметра, за допомогою отриманої інформації детального аналізу.

Автоматизація забезпечила платформу для швидкого реагування на вимоги ринку та мінливі потреби клієнтів. Таким чином, це постійне запрошення до подальшого розвитку та інновацій у зварювальних техніках і процесах.

Автоматизація зварювальних процесів має дуже значний позитивний вплив на продуктивність, якість і безпеку — економічну ефективність. Зварювальні цехи, які використовують сучасні роботизовані системи, можуть досягти набагато вищого рівня продуктивності, ніж ті, які покладаються на використання робочої сили у великій кількості, а іноді громіздкі числа.

процесом зварювання, зокрема інфрачервоні датчики, датчики машинного зору, датчики температури, акустичні датчики, датчики дуги та датчики навантаження [11-13].

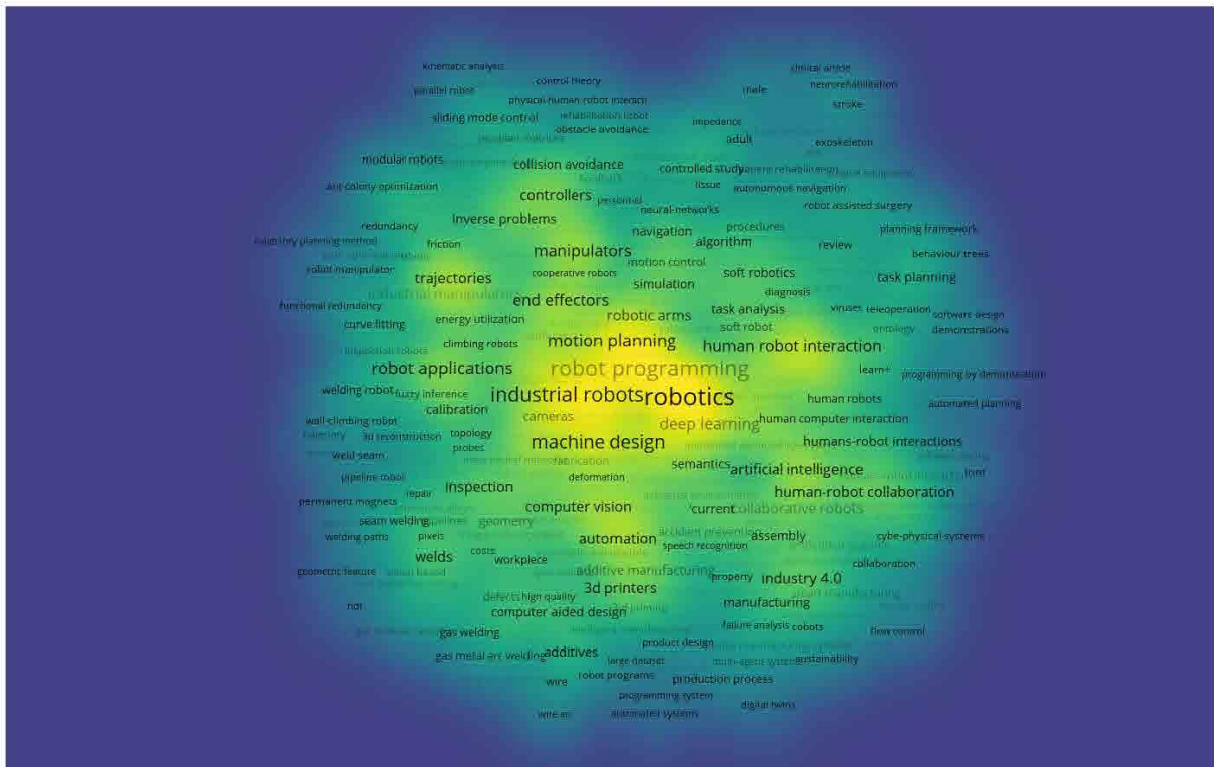


Рисунок 1.3 Ступінь застосування досліджень з автоматизації зварювальних процесів у період 2018-2024 рр. (дані БД Scopus від 5.06.2024р.)

Датчик машинного зору є одним із найбільш значущих датчиків з точки зору потенціалу розвитку. Цей пристрій дотримується оптичних принципів світла та використовує обробку зображень, щоб відрізнити об'єкти на передньому плані від об'єктів на задньому плані. По суті, він поєднує в собі функціональність камер із вдосконаленою обробкою зображень, щоб отримувати важливу інформацію із зображень.

Датчики машинного зору зазвичай використовуються в промисловій автоматизації та роботизованих процесах, ці процеси використовуються для різних цілей, включаючи моніторинг, вимірювання, виявлення об'єктів, оцінку якості та навігацію. Ці універсальні інструменти використовуються в таких сферах, як техніка, безпека, автомобілебудування, електроніка, логістика та безпілотні літальні апарати. Їх використання підвищує

ефективність, точність і продуктивність системи за рахунок автоматизації процесів візуального керування та контролю.

Інші функції можуть бути вбудовані в датчик машинного зору, зокрема освітлення для покращення якості зображень, протоколи зв'язку для обміну даними та інтеграція з роботами чи системами керування. Він функціонує в різноманітних умовах освітлення, що демонструє складні візерунки, кольори, форми та текстури. Датчики технічного зору можуть розпізнавати візуальну інформацію в режимі реального часу, що дозволяє автоматично приймати рішення та вживати дій.

Датчики машинного зору, які вимірюють зварні шви, мають такі властивості, що не мають контакту, є універсальними, мають високу точність і зчитування в режимі реального часу, ці властивості сприяють потужності інформації, яка надається для автоматизації контролю автоматизованих зварних швів. Однак отримання інформації про глибину є складним завданням при використанні датчиків машинного зору. Здатність сприймати глибину – це здатність розуміти тривимірний світ шляхом вимірювання відстані до об'єктів за допомогою зорової системи, яка нагадує людський стереоскопічний зір і механізм акомодатції в людському оці. Сприйняття глибини має різноманітне застосування [29,30], включаючи інтелектуальних роботів [31], автономне водіння [38-41], виявлення та відстеження об'єктів [40], взаємодію людини з комп'ютером [41], 3D реконструкції [42] та зварювальних проектів [43-45].

Датчики, пов'язані з процесом зварювання. Для спостереження за процесом зварювання популярним став лазерний датчик, який визначає зір. Коли положення шва змінюється, датчики, які використовуються для визначення місця зварювання, миттєво передають інформацію контролеру робота. Найпоширеніші датчики, які використовуються для зварювання, поділяються на три великі групи: датчики наскрізної дуги (TAST), датчики контролю напруги дуги (AVC), тактильні датчики, електромагнітні датчики, ультразвукові датчики та лазерні датчики зору.

Трекери, які визначають шов поперек дуги (TAST) [20] розробили систему, яка забезпечує відстеження зварного шва та контроль зварювальної ванни за допомогою дуги як датчика. Розташуванням точки виявлення сигналу є дуга процесу зварювання, це усуває помилки позиціонування, пов'язані з датчиком, і не залежить від бризок, диму або відблисків дуги, тому це економічно ефективне рішення. Складні математичні моделі [21, 32] створені та успішно використовуються для автоматичного відстеження швів при дуговому зварюванні та автоматизованого керування обладнанням. Комерційні компанії, які спеціалізуються на роботах, включили ці пристрої у своїх роботів.

Датчик відстеження, який використовує дугу як датчик для диференціації змін струму, що використовується для зварювання, від змін довжини дуги, називається датчиком відстеження дугового зварювання. Принцип роботи датчика полягає в тому, що коли змінюється положення дуги, змінюються електричні властивості дуги, першою з яких є відстань між ротом датчика та поверхнею заготовки. В результаті відстань між гарматою і швом можна визначити за характером коливань навколо гармати. У багатьох випадках TAST може підвищити ефективність процесу зварювання шляхом зміни різних параметрів.

Переваги TAST як методу відстеження зварних швів полягають у його низькій вартості, єдине необхідне додаткове обладнання – це датчик струму для відстеження. Однак це вимагає створення моделі керування відстеженням, яка передбачає використання роботизованої руки для позиціонування факела у відповідь на зворотний зв'язок поточного використання.

Датчики напруги дуги, які спостерігають за дугою (AVC). У зварювальному апараті з газовою вольфрамовою дугою (GTAW) співвідношення між напругою дуги та довжиною дуги є пропорційним. Датчики AVC використовуються для спостереження за зміною напруги дуги при зміні довжини дуги, це надає інформацію для контролю висоти факела. Через меншу чутливість до інформації про довжину дуги датчики AVC

переважно використовуються для вертикального контролю, але вони також використовуються для горизонтального зварювання. Моделювання датчика AVC є відносно простим і може використовуватися як для зварювання постійним, так і для імпульсного струму.

Лазерні датчики. Через обмеження матеріалу або процесу деякі типи зварювання, наприклад зварювання тонких листів, не мають датчика дуги, який можна використовувати для відстеження зварювання. До роботизованої системи необхідно додати інші датчики; лазерні датчики є популярним вибором.

Лазерні датчики не вимагають моделі дуги і можуть визначити положення зварного шва до початку процесу. Коли в шві відбуваються зміни, робот автоматично оновлює параметри, пов'язані з процесом зварювання, або коригує відхилення траєкторії, пов'язаної з процесом, у режимі реального часу. Лазерні датчики є складними і мають особливі вимоги щодо навколишнього середовища під час зварювання. Оскільки лазерний датчик розташований на горловині каміна, він може обмежити здатність каміна досягти вогню. Іншою пов'язаною проблемою є різниця між положенням точки виявлення лазерного датчика та точки зварювання, яка відома як положення проводів датчика щодо помилки.

Розвідка контактів. Контактним датчикам не потрібні додаткові функції для відстеження зварних швів. Замість цього вони визначають місцезнаходження зварного шва до подачі дуги та послідовно змінюють відхилення положення по всьому шляху. Робот використовує контакт для визначення положення зварного шва з метою отримання тривимірної інформації. Потім компенсація виявленого відхилення передається на контролер робота.

Типові датчики, які відстежують положення зварювального пальника та зварного шва, засновані на датчиках, які ковзають або котяться в канавці, щоб розпізнати відхилення положення між пальником і зварним швом. Вони використовують мікроперемикачі, які встановлені в датчику для визначення

полярності відхилення, що дозволяє стежити за зварним швом. Контактні датчики підходять для Х- і Y-подібних каналів, вузьких зазорів і галтельних з'єднань. Контактні датчики зазвичай використовуються для відстеження швів через їх просту конструкцію системи, зручність експлуатації, низьку вартість і відсутність залежності від дугового диму чи бризок. Однак вони мають кілька недоліків, зокрема, для різних типів канавок потрібні різні датчики, а датчики потенційно піддаються значному зносу та легко деформуються, що робить їх непридатними для високошвидкісного зварювання.

Ультразвукове зондування. Принцип виявлення в ультразвукових датчиках відстеження для зварних швів такий: ультразвукові хвилі надсилаються датчиком, і коли вони досягають поверхні зварного компонента, вони відбиваються та приймаються датчиком. Розрахувавши тривалість інтервалу між випромінюванням і прийомом ультразвукових хвиль, можна визначити відстань між датчиком і об'єктом. Для відстеження прогресування зварного шва використовується метод пошуку країв для розпізнавання випадків відхилення від лівого та правого країв зварного шва. Ультразвукове виявлення використовується в таких методах зварювання, як зварювання під флюсом (GTAW), і автоматично розпізнає деталь під час процесу. Ультразвукова технологія має значний вплив на виробничу промисловість, включаючи безконтактні вимірювання, високу роздільну здатність, моніторинг у реальному часі та широкий діапазон частот. Усуваючи перешкоди для процесу зварювання та зменшуючи пошкодження датчика, це гарантує точність і узгодженість з'єднаних частин. Крім того, ультразвукові датчики полегшують швидке виявлення проблем і недоліків, що дозволяє операторам негайно вживати заходів і гарантує якість зварювання. Однак ультразвукове виявлення має низьку обмежень, найбільш істотними з яких є висока вартість, суворі екологічні вимоги, обмеження щодо матеріалів, чутливість ближнього поля та складність експлуатації. Як наслідок, при здійсненні ультразвукового зондування вирішальним є комплексна оцінка конкретних цілей, витрат і технічних аспектів.

Зондування електромагнітним полем. Електромагнітні датчики використовують змінені струми в чутливій котушці, які є результатом змінених струмів у навколишньому металі поблизу датчика. Це полегшує сприйняття датчиком невідповідності розташування зварювального з'єднання. Подвійні електромагнітні датчики, які розташовані по периметру датчика, можуть диференціювати відхилення зварного шва від центрального положення датчика [20,21]. Вони особливо корисні для використання під час стикування структурних профілів, це особливо корисно для виявлення невідповідностей позицій у з'єднаннях структурних поверхонь, візерунків і подряпин. Вони також можуть автоматично розпізнавати положення зварних швів без проміжків. Для дугового зварювання І-подібних з'єднань під час конструкційного зварювання було розроблено пару електромагнітних датчиків, які живляться та запускаються сигналом третьої сторони. Вони відстежували положення зварного шва, регулюючи зсув датчика в реальному часі.

Технічний датчик зору. Системи технічного зору можна класифікувати як активні або пасивні на основі джерела світла в системі технічного зору. Пасивні технічні датчики, які є технічними за своєю природою, в основному використовуються для отримання інформації про зварювальну ванну, оцінки перенесення розплавленого металу на поверхню, розпізнавання форми зварного шва та відстеження його прогресування. У [23] була запропонована пасивна оптична система для зчитування зображень, яка мала здатність до вторинної фільтрації, що дозволяло інтелектуальне виділення зображень осередків пожежі з алюмінієвого сплаву. Ця система дозволила чітко візуалізувати осередки пожежі з алюмінієвого сплаву.

У активних датчиках зору для освітлення використовуються додаткові джерела світла, як правило, лазери. Ідея полягає в тому, щоб використовувати лазерний діод і камеру CCD для створення технологічного датчика зору. Червоне світло від лазерного діода повторно випромінюється в зоні зварювання, а потім вводиться в камеру CCD. Відносно розташування

лазерного променя на зображенні використовується для виведення тривимірної інформації зварного шва [14,15,16]. Щоб обійти складний спектр зварювального полум'я та підвищити якість зображення, можна використовувати лазери з певною довжиною хвилі для ізоляції світла полум'я. Обчислення глибини базуються на перетворенні Фур'є, вимірюванні фази, методі Муаре та оптичній триангуляції. По суті, вони вивчають тривимірне світлове поле, яке модулюється поверхнею об'єкта, щоб отримати інформацію про зварювану деталь.

Як пасивні, так і активні системи технічного бачення можуть полегшити 2D або 3D бачення для перевірки зварних швів. Двовимірне зчитування в основному використовується для розпізнавання форм зварних швів і моніторингу зварних ванн. Тривимірне зондування надає інформацію про важливий вимір глибини для машинного зору.

1.2 Сприйняття глибини в системах технічного зору

Сьогодні 3D-реконструкція широко використовується в робототехніці, локалізації та навігації, а також у промисловому виробництві. На малюнку 4 зображено два різновиди глибоких обчислень. Традиційні методи тривимірної реконструкції походять від складних тривимірних геометрій. Ці алгоритми використовують зображення або відеодані, отримані з різних точок зору, і використовують геометричні обчислення та аналіз невідповідності для реконструкції тривимірної форми та глибини об'єктів. Методи, які використовують геометрію кількох ракурсів, зазвичай передбачають калібрування камери, порівняння зображень, триангуляцію та заповнення пікселів для створення високоякісних 3D-реконструкцій.

Подумайте про візуальне сприйняття роботів, які використовують глибоке навчання, включаючи 3D-реконструкцію об'єктів. Методи глибокого навчання використовують згорточні нейронні мережі (CNN) для вирішення проблеми 3D-реконструкції. Використовуючи моделі глибокого навчання на зображеннях або відео, ці алгоритми здатні отримувати інформацію про 3D-

структуру та глибину об'єктів за допомогою навчання та висновків. За допомогою глибокого навчання та автоматичного вивчення функцій ці алгоритми здатні подолати обмеження традиційних методів і мати вищий ступінь продуктивності в 3D-реконструкції об'єктів.

Традиційні методи 3D-реконструкції можна розділити на дві категорії залежно від того, чи сприяє сенсор освітленню об'єктів. В активних методах використовуються лазерні, звукові або електромагнітні хвилі, які випромінюються в напрямку знаходження цільових об'єктів і сприймають відбиті хвилі. У пасивних методах використовуються камери, які спостерігають за відображенням навколишнього середовища (наприклад, природного світла), і спеціальні комп'ютери для обчислення тривимірної просторової інформації, пов'язаної з об'єктами.

В активних методах для визначення глибини об'єктів можна використовувати вимірювання світла, звуку або електричних хвиль. Точне калібрування та точна синхронізація апаратних компонентів і датчиків має вирішальне значення для забезпечення точності та узгодженості.

На відміну від пасивних методів, отримані зображення аналізуються комп'ютерами для отримання тривимірної інформації про об'єкти, яка має як просторове, так і часове дозвіл [23,24]. Ці алгоритми зазвичай передбачають виділення особливостей, відображення цих функцій на відповідні глибини та форми, а потім триангуляцію результатів для отримання інформації про глибину та форму зображень.

Структуроване світло - це метод освітлення, який використовує проєктор для проєктування світла, структурованого та записаного камерою. Цей підхід заснований на різниці у відстані та напрямку між різними частинами об'єкта відносно камери, що призводить до зміни розміру та форми проєктованого зображення. Ці варіації можна спостерігати за допомогою камери та підсумовувати комп'ютером для отримання інформації щодо глибини, що дозволяє створити тривимірну модель об'єкта [36]. Однак структуроване освітлення має кілька обмежень, зокрема чутливість до

перешкод від природного світла, що призводить до зниження продуктивності на відкритому повітрі. Крім того, зі збільшенням відстані між детектором і об'єктом точність структурованого світла зменшується. Щоб вирішити ці проблеми, використовуються такі стратегії, як збільшення потужності та зміна способу використання кодів у сучасних дослідженнях [27-29].

TOF - це метод вимірювання відстані, який використовує безперервне світло та вимірює різницю в часі або фазі між отриманим світлом і світлом цілі для обчислення відстані до об'єкта. Однак цей підхід потребує точних компонентів синхронізації, які є дорогими для досягнення необхідної точності, що робить його менш поширеним. Однак TOF здатний вимірювати відстані, які є достатніми для мінімального впливу сонячного світла. Сьогоднішнє дослідження присвячене зменшенню витрат і продуктивності компонентів синхронізації, а також підвищенню ефективності алгоритму. Мета полягає в тому, щоб зменшити витрати шляхом вдосконалення процесу виробництва модуля синхронізації та збільшити діапазон вимірювань шляхом оптимізації алгоритму.

Метод тріангуляції — це метод вимірювання відстані, який спирається на концепцію тріангуляції. Інші методи, які потребують точних датчиків, мають вищу загальну вартість. На коротких відстанях метод тріангуляції достатньо точний, щоб використовувати його в споживчих і комерційних продуктах, таких як роботизовані пирососи. Однак помилка, пов'язана з тріангуляцією, залежить від відстані між спостерігачем і об'єктом. Зі збільшенням відстані між точками вимірювання збільшується й похибка вимірювання. Це частина основи тріангуляції, і її неможливо повністю уникнути.

Метод лазерного сканування — це активний візуальний метод 3D-реконструкції, який базується на взаємодії між лазерним променем і поверхнею об'єкта для отримання інформації про об'єкт у 3D. Цей метод використовує методи лазерної проекції та лазерного вимірювання для визначення положення лазерних точок або ліній, а потім обчислює їхні

тривимірні координати, що забезпечує точну 3D-реконструкцію. Лазерне сканування має такі переваги, як висока точність, гнучкість до різних умов освітлення та збір даних у реальному часі, що робить його придатним для реконструкції складних форм і деталей. Однак цей підхід має довший часовий проміжок для більших об'єктів, вищу вартість і проблеми з прозорістю поверхні, відбивною здатністю або багаторазовим розсіюванням. Завдяки прогресивному розвитку технологій лазерне сканування має значний вплив на інженерію, архітектуру, культурну спадщину та інші галузі. Однак ще потрібно вирішити проблеми часу, вартості та спеціальної сумісності поверхні [16-18].

пасивні методи. Монокулярний зір — це форма реконструкції глибини, яка використовує одну камеру як середовище для зображення. Перевагою такого підходу є низька вартість і простий монтаж. Монокулярний зір створює 3D-середовище із серії безперервних зображень за допомогою розбіжностей. Монокулярні методи відновлення глибини включають фотометричне стерео [19], відновлення текстури [20], відновлення затінення [11], відновлення розфокусування [12] і відновлення концентричної мозаїки [23]. Ці методи використовують варіації в освітленні, візерунки текстури, градієнти яскравості, інформацію про фокус і тесселяцію об'єктів для створення карти глибини їхніх складових. Щоб підвищити точність і узгодженість оцінки глибини, деякі методи [34,35] використовують регуляризацію глибини та згорточні нейронні мережі для оцінки монокулярної глибини. Однак використання монокулярного зору для оцінки глибини та реконструкції тривимірного простору має свої обмеження. Одна фотографія може відповідати кільком фактичним фізичним сценам, що призводить до складного часу оцінки глибини та спроби реконструювати 3D-інформацію виключно з монокулярного зору.

Бінокулярний/мультивізіонний зір - це вдосконалений метод спостереження, який базується на принципах стереогеометрії. Він використовує зображення, отримані лівою та правою камерами, після процесу

корекції, щоб знайти відповідні пікселі та реконструювати 3D інформацію про навколишнє середовище. Однак цей підхід має недолік, оскільки вимагає вирівнювання зображень із лівої та правої камер, оскільки неправильне вирівнювання може мати значний вплив на кінцеву продуктивність алгоритму. Щоб підвищити точність збігу, багатокутне бачення використовує конфігурацію з трьох або більше камер, що підвищує точність збігу [27]. Цей підхід має низку суттєвих недоліків, включаючи більший час обчислення та нижчу продуктивність у реальному часі.

На основі камер RGB-D: останнім часом багато вчених присвятили свої дослідження використанню недорогих камер споживчого класу RGB-D для 3D-реконструкції. Наприклад, пристрої Microsoft Kinect V1 і V2 мали значний вплив на цю сферу. Алгоритм Kinect став важливим для досягнення 3D-реконструкції в режимі реального часу за допомогою камер RGB. Пізніше були створені такі алгоритми, як Dynamic Fusion [30], ReFusion [31] і Bundle fusion [32], які збільшили швидкість розробки поля [33]. Ці алгоритми забезпечили нові підходи та методи використання камер RGB-D.

Методи тривимірної реконструкції, які використовують глибоке навчання. У контексті глибокого навчання методи 3D-реконструкції на основі зображень використовують великі набори даних для створення попередніх знань, а потім перетворюють проблему 3D-реконструкції в проблему кодування та декодування. Зі збільшенням поширення наборів 3D-даних і збільшенням потужності комп'ютерів глибоке навчання дозволяє реконструювати 3D-моделі об'єктів з одного чи кількох 2D-зображень без необхідності складного калібрування камери. Цей метод використовує потужні можливості представлення даних і керований даними підхід до глибокого навчання, який базується на навчанні. Цей підхід забезпечує значні переваги та нові можливості для реконструкції 3D-зображень.

У 3D-реконструкції існує чотири загальні формати даних, які представляють відстань від спостерігача до об'єкта для кожного пікселя. Дані представлені у вигляді зображення в градаціях сірого, де темніші області

представляють ближчі області. Вокселі подібні до пікселів у двох вимірах і використовуються для представлення тривимірних елементів з об'ємом. Кожен воксель може містити інформацію щодо тривимірного положення, а також інших атрибутів, таких як колір та інтенсивність відображення. Хмари точок складаються з окремих точок, кожна з яких містить тривимірну інформацію, а також колір і інтенсивність, які відображають місцевість. Сітки — це двовимірні структури, які складаються з багатокутників і використовуються для представлення поверхні тривимірних об'єктів. Перевага сітчастих моделей полягає в тому, що їх просто розрахувати, вони можуть піддаватися різним геометричним перетворенням і обчисленням.

Вибір відповідного формату даних залежить від конкретних цілей і вимог алгоритму, який має різноманітні опції та застосування в 3D-реконструкції.

3D-реконструкція на основі вокселів. Вокселі подібні до пікселів у тривимірному просторі та мають регулярну структуру, схожу на структуру двовимірного простору. Було продемонстровано, що різні конфігурації нейронних мереж, які зазвичай використовуються в області аналізу 2D-зображень, легко портуються для роботи з представленням на основі вокселів. У результаті, вирішуючи проблеми, пов'язані з реконструкцією тривимірних сцен і семантичним розумінням зображень, ми можемо використовувати для дослідження підходи на основі пікселів. У зв'язку з цим ми класифікуємо представлення на основі вокселів на щільне, розріджене та трансформоване представлення на основі хмари точок.

3D-реконструкція, отримана з хмари точок. Традиційні інфраструктури глибокого навчання побудовані навколо двовимірних згорток, які ефективні зі структурованими даними, які підтримуються сучасними комп'ютерами з паралельною обробкою. Однак зображення, у яких бракує інформації щодо глибини, зазвичай мають неоднозначність щодо значення зображення, яке є специфічним для освітлення чи оптичних умов, у яких зроблено зображення. Як доповнення до 3D-даних було розроблено 3D-конволюцію, яка забезпечує

природну обробку регуляризованих даних xel. Однак, порівняно з двовимірними зображеннями, обчислювальні ресурси, необхідні для обробки воксельних зображень, зростають експоненціально. Крім того, 3D-структури мають високий ступінь розрідженості, що призводить до значної втрати ресурсів при використанні зображень на основі вокселів. Як наслідок, представлення на основі вокселів більше не підходить для широкомасштабного аналізу сцен. З іншого боку, хмари точок є нерегулярним представленням, яке може просто й ефективно охопити розріджену природу 3D-даних. Це подання є важливим у контексті розуміння 3D-сцени. Як наслідок, виділення хмар точок стало критично важливим для процесу аналізу 3D-сцени та зазнало значного зростання у розвитку.

3D реставрація на основі сітки. Для створення 3D-моделей використовуються методи тривимірної реконструкції на основі сітки. Цей метод використовує сітковий опис геометричної форми та топологічно пов'язаної інформації об'єктів, цей опис полегшує точний опис об'єктів. Під час тривимірної реконструкції з використанням сітки першим кроком є отримання даних хмари точок поверхні об'єкта. Далі хмара точок обробляється за допомогою ряду дій, результатом яких є сітчасте представлення даних. Ці процедури включають створення топології сітки, коригування положення вершин і згладжування меж. Зрештою, оптимізувавши та вдосконаливши сітку, ви можете створити точне та згладжене тривимірне представлення об'єкта.

Методи тривимірної реконструкції на основі сітки мають кілька переваг. Сітчаста структура зберігає специфічні деталі форми об'єкта, що забезпечує більш високу точність результатів реконструкції. Зв'язки між суміжними клітинками в сітці мають високу інформативність, що може бути використано для подальшого аналізу та обробки геометричної інформації. Крім того, сітчасті методи можна поєднувати з методами глибокого навчання, такими як згорткові нейронні мережі графів, що дозволить покращити розуміння та аналіз 3D-форм.

1.3 Датчики зварювання в промисловому застосуванні

Останнім часом розробка роботизованих датчиків для зварювання йде стрімкими темпами, і їх використання в різних галузях промисловості зростає все частіше [12-15]. Ці датчики створені для розпізнавання та вимірювання різних параметрів, зокрема температури, тиску, швидкості та положення, які є важливими для забезпечення послідовного та якісного зварювання. Поєднання кількох датчиків дозволяє роботам-зварювальним машинам краще охоплювати об'єкт, що зварюється, і керує роботом, щоб він досягав важкодоступних або небезпечних для людей місць. Таким чином, роботизовані зварювальні машини широко використовуються в різних галузях промисловості, включаючи суднобудування, автомобілебудування, машинобудування, аерокосмічну промисловість, залізницю, і завдяки своїй схильності підвищувати ефективність, точність і безпеку процесу зварювання.

В автомобільній промисловості значну роль у забезпеченні якості та точності зварювальних процесів відіграють роботизовані датчики зору, які кріпляться до кришки автомобіля. Ці датчики створені для розпізнавання різних характеристик, включаючи товщину та форму сталевих листів, положення та орієнтацію компонентів автомобіля, а також консистенцію зварних швів. Використовуючи роботизовані зварювальні бачні датчики, виробники можуть підвищити ефективність і точність своїх виробничих процесів, зменшити потребу в людській праці та забезпечити належну безпеку та якість своєї продукції.

Інші галузі виграли від роботизованих зварювальних датчиків, які можна побачити візуально. Ці датчики можуть легко вирішувати складні, невдалі та небезпечні сценарії під час процесу зварювання [28-31]. Розпізнаючи, виявляючи та моделюючи об'єкт, що зварюється, датчики можуть всебічно зрозуміти структуру об'єкта, просторові відносини та розміщення, що забезпечує точне керування пальником зварювальника та забезпечує найефективніші результати. Універсальність сенсорів на основі

зору для роботизованого зварювання сприяє їх адаптації до різних умов навколишнього середовища, таких як різне освітлення, температура та відстань. Їх також можна комбінувати з іншими датчиками та системами, щоб підвищити їх ефективність і можливості.

Використання датчиків технічного зору в роботизованих зварювальних машинах має кілька переваг порівняно з традиційними методами ручного контролю. Спочатку вони мають здатність розпізнавати недоліки та невідповідності в режимі реального часу, що дозволяє негайно вжити заходів для їх усунення, що зменшує ймовірність дефектів і покращує загальну якість з'єднань. По-друге, вони можуть перевіряти місця, до яких людині важко або неможливо отримати доступ, наприклад, внутрішню частину труб або нижню частину кузова автомобіля. Ці ділянки перевіряються, щоб переконатися, що всі зварні шви відповідають необхідним стандартам, незалежно від їх розташування. Крім того, роботизовані датчики машинного бачення можуть перевіряти зварні шви швидше, ніж людські методи, що підвищує продуктивність і ефективність. Вони також зменшують потребу в ручній праці, яка займає багато часу та коштує. Крім того, використання роботизованих зварювальних камер може сприяти підвищенню безпеки працівників за рахунок зменшення необхідності працювати в небезпечних середовищах.

Декілька досліджень показали, що функція зваженої похибки позиції в просторі зображення зростає з 0 до 1, після активного контролю похибка була зменшена до менше 2 пікселів. Щоб зменшити неточності, спричинені процесом зварювання, у робототехнічній системі використовується коригування траєкторії інструменту та адаптаційні стратегії. Експерименти продемонстрували, що роботизовані системи можуть працювати в обмеженому діапазоні зовнішніх кутів, разом із кількома початковими кутами, які обмежені 50 градусами. Ця технологічна еволюція сприяла вдосконаленню існуючих конструкцій і ремонту технологічних пристроїв з використанням поетапного точкового зварювання.

У результаті датчики машинного зору, які використовуються в роботизованому зварюванні, мають значний вплив на допомогу роботизованим зварювальним системам розпізнавати та виявляти об'єкти, які зварюються, а потім контролювати процес, щоб забезпечити досягнення бажаних результатів. Ці датчики використовують передові візуальні технології, такі як камери, лазери та комп'ютери, щоб розпізнавати та аналізувати форму, розмір, матеріал та інші відповідні атрибути об'єкта. Їх можна об'єднати з робототехнічною системою зварювання різними способами, наприклад, встановити їх на роботизовану руку або включити в вітальний факел. Датчики в режимі реального часу передають інформацію робототехнічній системі, що дозволяє регулювати параметри, пов'язані зі зварюванням, такі як швидкість, тиск і теплове навантаження, усі з яких призначені для оптимізації якості та стабільності зварювання. Люди відіграють вирішальну роль у використанні зварювальних роботів у різних галузях промисловості. Автомобільна, аерокосмічна та суднобудівна галузі мають унікальні проблеми щодо зварювання, які потребують індивідуальних рішень. Окремі роботи, конкретні параметри та контроль якості повинні враховуватися, щоб забезпечити відповідність конкретним вимогам галузі.

1.4. Стан досліджень

На сприйняття візуальної інформації під час зварювальних процесів негативно впливають численні фактори, включаючи різноманіття зовнішнього вигляду об'єктів, складність процесу, недостатню видимість, інтерференцію датчиків, обмеження обробки, знання про прогалини та проблеми безпеки. Щоб подолати ці перешкоди, знадобиться впровадження передових технологій зондування та сприйняття, складних програмних додатків і ретельної системної інтеграції. У сфері промислових роботів розглядається питання зорового сприйняття під час процесу зварювання. У ньому розглядаються поточні проблеми, можливі шляхи вирішення та потенційне майбутнє зростання в галузі зварювальних машин.

Досліджуючи потенціал глибокого навчання та CNN у технічній сфері систем зору, пов'язаних зі зварюванням, надзвичайно важливо визнати потенціал альтернативних методів і оцінити їхню ефективність у конкретних ситуаціях. Інші традиційні методи машинного навчання також можна ефективно включити в системи машинного зору роботизованих зварників. Наприклад, опорні векторні машини (SVM) і випадкові ліси стають поширеними варіантами для розпізнавання та виявлення недоліків у процедурі зварювання. Ці алгоритми зазвичай менш дорогі та дають виняткові результати на конкретних наборах даних.

Рекомендовані системи є бюджетними та мають інтуїтивно зрозумілу привабливість, яка підтипує конкретні зварювальні професії. Використовуючи попередньо встановлені правила та логічні міркування, ці системи аналізують зображення та приймають розумні рішення. Традиційні методи машинного зору, включаючи порогове визначення, визначення країв і аналіз форми, успішно визначають положення та форму зварного шва. Крім CNN, багато традиційних підходів машинного зору були використані в технологічних системах, присвячених роботизованому зварюванню. Наприклад, зіставлення шаблонів може полегшити точне розпізнавання та розміщення зварних швів, крім того, оптичний потік можна використовувати для розпізнавання руху об'єктів під час процесу зварювання. Ці методи часто є менш складними та мають більшу схильність демонструвати стабільність у конкретних випадках. Моделі, які використовують різні підходи, можуть забезпечити комплексні рішення. Поєднання традиційного комп'ютерного бачення з глибоким навчанням дозволяє використовувати функції, отримані в результаті глибокого навчання, з метою класифікації або виявлення. Ці гібриди особливо корисні в ситуаціях з обмеженою доступністю інформації або високим попитом на усний переклад.

Основні проблеми, пов'язані з роботизованими системами бачення зварювання, включають наступне:

1. Наявні переваги та недоліки використання роботів для автоматизації процесу зварювання.
2. Обмежені можливості виявлення та розпізнавання: традиційні методи комп'ютерного зору, які використовуються в цих системах, мають обмежену здатність виявляти та розпізнавати об'єкти, що призводить до помилок під час процесу зварювання.
3. Вразливість до шуму та перешкод. Системи роботизованого бачення, які використовуються для зварювання, чутливі до проблем, пов'язаних із шумом та перешкодами, спричиненими такими джерелами, як процес зварювання, рух роботизованої руки та зовнішні фактори, як пил і дим.
4. Проблеми з оцінкою глибини та 3D-реконструкцією: варіації у властивостях матеріалу та методах зварювання призводять до розбіжностей у процесі зварювання, що ускладнює точну оцінку глибини та досягнення точної 3D-реконструкції.
5. Існуючі зварювальні установки складно з'єднати, часто мають обмежений простір, і встановлення сенсорної системи, яка підтримує декілька режимів, потребує змін, щоб відповідати новим вимогам. Ефективна обробка великих обсягів даних і вилучення відповідної інформації є складними завданнями, які вимагають попередньої обробки та алгоритму уніфікації. інтеграція передбачає заспокоєння складних систем і забезпечення їх точного та плавного зв'язку з програмним забезпеченням, що забезпечує точність і надійність даних.

Ці рішення призначені для вирішення цих проблем.

1. Створіть підхід до виявлення та розпізнавання об'єктів, заснований на глибокому навчанні: поєднання методів глибокого навчання, таких як CNN, може значно розширити можливості роботизованих зварювальних систем щодо розпізнавання та виявлення об'єктів. Це сприяє їх точному розпізнаванню об'єктів і здатності адаптуватися до змін навколишнього середовища.

2. Перетворення глибокого навчання в роботизовану зварювальну машину: використовуючи попередньо навчені моделі глибокого навчання, які є специфічними для роботизованого зварювання, система технічного зору може вивчати та розпізнавати об'єкти та атрибути, пов'язані з процесом зварювання, що підвищує ефективність і послідовність машина.

3. Створення мультимодальних датчиків, які поєднують візуальну інформацію від камер з іншими датчиками, такими як лазерний радар і ультразвукові датчики, призведе до кращого розуміння середовища зварювання. Цей синтез підвищує точність і послідовність системи технічної перспективи.

4. Інтеграція моделей та обладнання: різні датчики використовуються для отримання інформації щодо глибини, і ця інформація потім поєднується з моделлю зварювання для підвищення точності оцінки глибини та створення 3D-моделі.

5. Необхідно провести комплексний аналіз вимог і можливостей системи за допомогою експертів зі зварювання для створення багатомодальної архітектури для інтеграції датчиків. Вибір відповідних алгоритмів вилучення та агрегації даних для забезпечення точних і законних результатів. Проведення досліджень щодо калібрування даних та системної інтеграції, включаючи конфігурацію апаратного забезпечення та розробку програмних інтерфейсів. Калібрування датчиків і оцінка продуктивності системи для забезпечення послідовного та ефективного зварювання.

Майбутні потенційні досягнення включають наступне.

1. Підвищення надійності моделей глибокого навчання: підвищення точності моделей глибокого навчання для протистояння шумам і перешкодам розширить діапазон роботизованих систем машинного зору, які використовуються для зварювання в різних сценаріях навколишнього середовища.

2. Поєднання знань предметної області з глибоким навчанням: поєднання знань про те, як зварювати з глибоким навчанням, може підвищити їхню ефективність і універсальність у рамках роботизованої системи для зварювання.
3. Обробка даних і зворотний зв'язок у режимі реального часу: створення механізмів обробки даних і зворотного зв'язку в режимі реального часу дозволяє роботизованим системам технічного бачення реагувати на зміни в середовищі зварювання, що покращує якість і послідовність зварювання.
4. Саморегульовані зварювальні системи: поєднання глибокого навчання з роботизованою технічною експертизою прокладає шлях для створення автономних зварювальних систем, які можуть виконувати складні завдання без допомоги людини.
5. Для розуміння процесу роботизованого зварювання можна використовувати злиття кількох режимів. Поєднання візуальних і акустичних сигналів із параметрами зварювального процесу може призвести до всебічного розуміння процесу, що потім може дозволити використовувати роботизовану систему для прийняття більш точних рішень і отримання вищої якості зварювання.
6. Створення бази знань для захисту від зварювання: створення колекції різних методів і матеріалів для зварювання дозволяє роботизованим зварювальним системам отримувати знання та покращувати свою ефективність і універсальність на основі цієї бази.

Проблеми, перелічені вище, а також напрямки, які вони приймають, і переваги роботизованого зварювання, — все це необхідно для вивчення та вирішення. У зв'язку з цим завданням наших досліджень є менша мета — підвищення довговічності деталей за рахунок використання концентрованих джерел енергії у вигляді технологічного процесу плазмового зварювання каркасу за допомогою роботизованої промислової машини.

Для реалізації основної мети заходу необхідно було виконати наступні завдання:

- оцінити переваги використання роботів для автоматизації зварювання.
- оцінити можливість зварювання рами роботом-зварником;

Встановіть керівні принципи для підвищення ефективності процесу.

РОЗДІЛ 2.

ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ

2.1. Устаткування для плазмового зварювання

Технологія плазмового зварювання та наплавлення відрізняється від звичайних процесів. Сьогодні ця процедура більш популярна, ніж інші способи зварювання. На відміну від нового (SMT) і традиційного зварювання TIG, плазмове зварювання має успішну історію, є стабільним і надійним. Рама – це невід’ємна частина, яку ми розглядаємо, вона складається з різних матеріалів – нержавіючої сталі, матеріалів з покриттям. У деяких виробничих сценаріях необхідно найняти зварювальника, який спеціалізується на сплавах на основі нікелю. Як наслідок, використання джерела висококонцентрованої плазми є доречним і необхідним.

Система, яка використовує плазму для зварювання, складається з чотирьох основних частин: цифрового джерела струму TIG, механізму охолодження, 10-модульного плазмового модуля та пальника, який використовується для плазмового зварювання (рис. 2.1).

В якості генераторів струму вигідно використовувати цифрову технологію - MagicWave або TransTig TIG. TransTig TIG (0,5-550 A) дозволяє використовувати традиційний процес TIG і плазмовий метод.

Модуль PlasmaModule 10 дозволяє регулювати розмір аркади в діапазоні 3-30А.

Полум'я для плазмового зварювання можна використовувати як для роботизованого, так і для звичайного плазмового зварювання. Центральна точка інструменту (TCP) для плазмового паяння та роботизованого паяння TIG ідентична, що забезпечує ефективне та універсальне керування виробничими процесами.



Рисунок 2.1 – Зварювання роботизованим комплексом фірми FRONIUS з використанням плазми.

Для плазмового методу необхідний нагрівальний модуль Kühlgerät FK 4000. Цей модуль забезпечує ефективний дренаж води з полум'я пайки.

Сьогодні більшість заводів мають кілька різних типів роботів. Таким чином, слід звернути увагу на процедуру використання обладнання FRONIUS для використання з найпоширенішою машиною KUKA.

Певною мірою конкурентний процес є СМТ. На основі останніх досліджень в області цифрового керування компанія Fronius розробила технологію наплавлення та комбінування матеріалів методом холодного перенесення металу (Cold Metal Transfer - СМТ). Використання цієї технології сприяє використанню режиму, подібного до способу передачі металу через короткі замикання, однак вхідне тепло менше. Цей атрибут процесу СМТ зменшує термічну деформацію з'єднаних структур, розбрикування електродів і однорідність зварних швів. Це також мінімізує кількість дефектів у зварних швах.

«Холодне» переміщення металу в ванну під час процесу SMT досягається шляхом зупинки струму в момент короткого замикання краплі металу в поєднанні з імпульсним характером коливального дроту. Крім того, перенесення металу і відрив краплі здійснюється за рахунок самої маси

краплі металу і її механічного струшування в зварювальну ванну без додаткового підведення енергії: у разі короткого замикання в ванні система буде реагує на падіння напруги та зменшить силу струму, що використовується для розплавлення падіння, до мінімуму. Крім того, дріт видаляється з ванни, яка містить зварювальний матеріал, це досягається завдяки мінімальному підведенню тепла, необхідному для відділення краплі. При такій схемі реалізації досягається ряд додаткових переваг, серед яких: плавний старт; стабільна дуга, що горить при малих рівнях зварювального струму; висока стійкість ванни в процесі зварювання; рівномірне і точне формування зварного шва; і отримання протилежного формування шва без застосування підкладок.

Для виконання методу перенесення холодного металу в конструкцію установки SMT включені додаткові компоненти. З одного боку, є два пристрої подачі дроту, які керуються цифровою системою. Передній блок Robacta Drive SMT містить провід, який пульсує з частотою до 70 разів на секунду (можна встановити блок SynchroPuls з частотою пульсації 5 разів на секунду). Останній блок VR 7000 SMT призначений для подачі дроту.

Очевидно, що в області зварювальних процесів термін «холодне» є відносним, але порівняно з традиційним зварюванням MIG/MAG, СМТ є холодним процесом, який відрізняється стабільним горінням дуги. Технологія SMT дозволяє легко виконувати складні раніше операції: отримання спаяних і склеєних швів; з'єднання сталі з алюмінієм; отримання тонких, але міцних швів; і так далі.

Величина зазорів під час процесу зварювання дозволяє автоматизувати його.

Ефективність процесу СМТ під час зварювання пояснюється низькою температурою ванни, яка використовується для процесу зварювання, що призводить до того, що суміш основного металу та електродів є меншою, ніж під час використання традиційного обладнання MIG/MAG. І навпаки, зміни металургійного складу, хімічного складу та експлуатаційних

властивостей наплавленого шару мінімальні. Це сприяє зменшенню кількості нанесених шарів і в деяких випадках відмові від використання буферних або проміжних шарів. Це дозволяє скоротити тривалість процедури наплавлення та кількість дроту, що використовується для наплавлення, до 50%.

Модульна конструкція сприяє універсальності налаштувань СМТ. Обладнання Fronius дозволяє проводити зварювання на додаток до використання системи СМТ, воно також підтримує стандартне MIG/MAG або імпульсне зварювання. Додатково економія досягається за рахунок відсутності втрат захисного газу на зварювальний пальник, блок охолодження автоматичний, низьке енергоспоживання на холостому ході.

Основними сферами використання зварювання SMT є автомобілебудування, аерокосмічна промисловість, створення металевих контейнерів і порталних конструкцій, енергетичне обладнання, теплообмінники та виробництво компонентів.d.

Зварювання проводилось дротом діаметром 1,8 мм зі складу ПП-Нп-25Х5ФМС. Види зварювання: напруга $U = 26\text{В}$, струм $I = 220\text{А}$, при цьому глибина отвору 1,6 мм, суміш основного металу не більше 37%. При традиційній зварювальній технології середня глибина проплавлення становить 3,8-5,5 мм, а склад основного металу - 50-53%.

RoboDK, попередньо ліцензована програма для офлайн-проекування та програмування, була використана для моделювання процесу.

Рама велосипеда з 10 ділянками зварювання, яка була обрана об'єктом зварювання, мала 10 ділянок.

Для обертання рами використовувалося інше обладнання - механізм KUKA KP1 H250 EH980, який має одну зовнішню вісь. Витримує вагу до 250 кг (рис. 2.2), працює зі швидкістю 50 градусів за секунду при максимальному обертанні 840 об./хв.. Механізм для KUKA KP1 H250 EH980 виробництва KUKA.

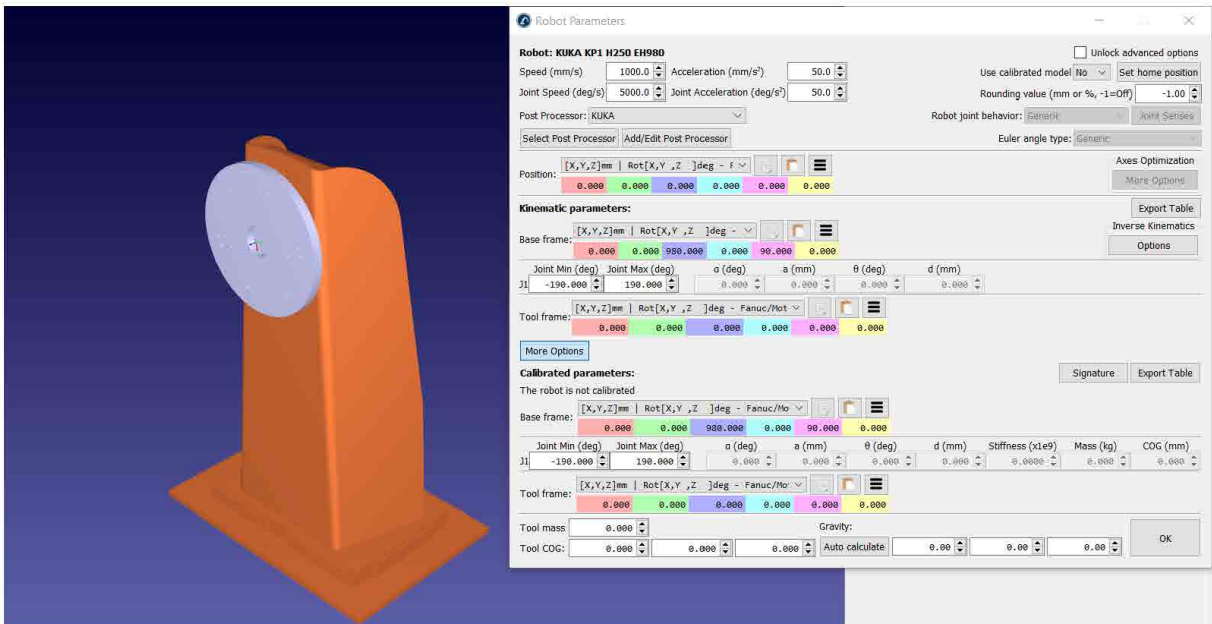


Рисунок 2.2 Механізм KUKA KP1

Для процесу складання використовувалася роботизована рука з меншою вантажопідйомністю - роботизована рука KUKA KR 8 R1420 arc HW 6-осьова, має вантажопідйомність 8 кг і радіус дії 1421 мм (рис. 2.3). Товщина роботизованої платформи KUKA KR 8 R1420 arc HW становить 0,04 мм, а вага платформи становить близько 179 кг. Загальні сфери використання апарата KUKA KR 8 R1420 arc HW включають додавання матеріалу, дозування, дистанційне керування та зварювання.



Рисунок 2.3 KUKA KR 8 6-осьовий робот-маніпулятор

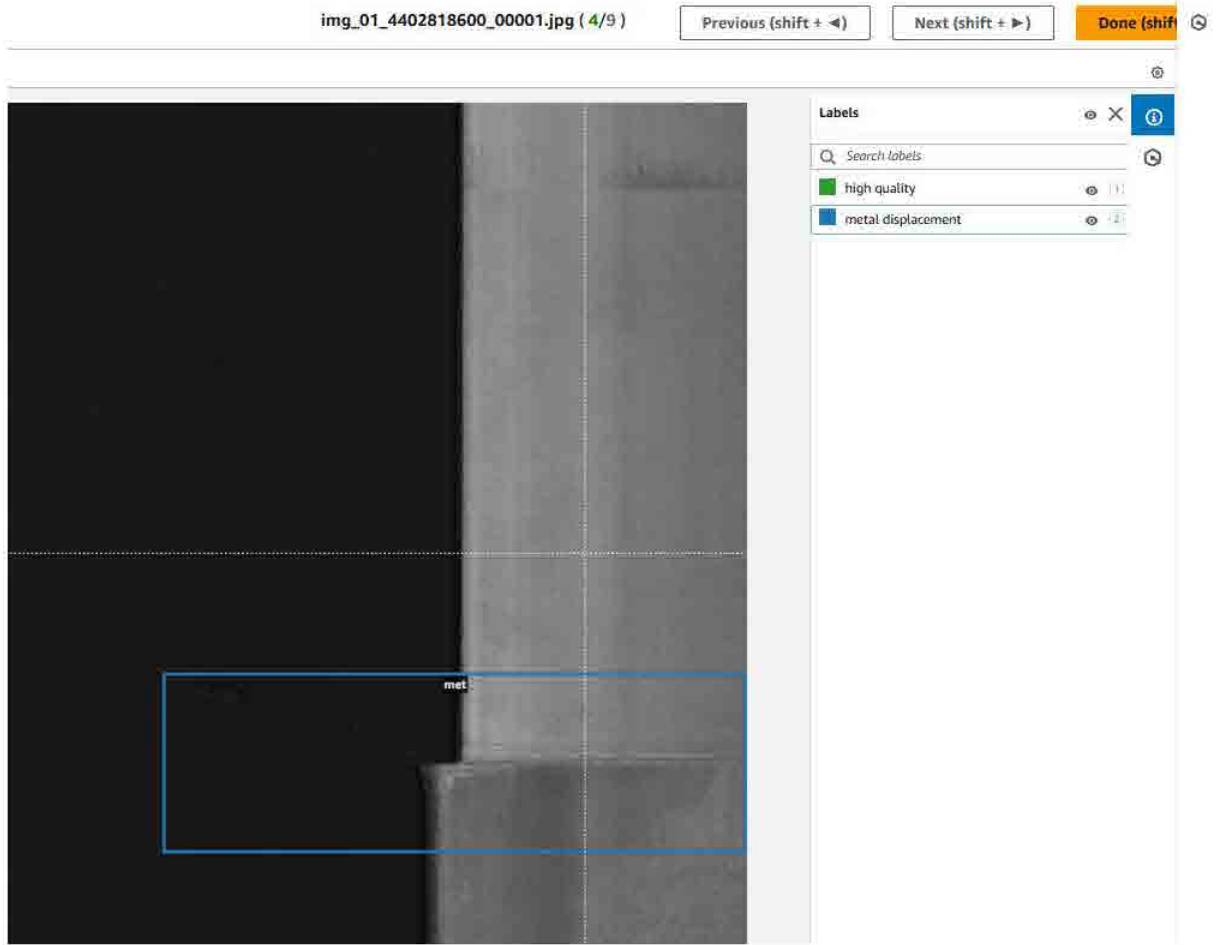
Роботизована рука KUKA KR 16 R1610 була використана для імітації зварювання, це 6-осьовий маніпулятор з максимальною вантажопідйомністю 16 кг і діапазоном руху 1612 мм. Консистенція роботизованої платформи KUKA KR 16 R1610 становить 0,04 мм, а платформа приблизно 245 кг. Основні сфери використання KUKA KR 16 R1610 включають адитивне виробництво, дозування, дистанційне керування та зварювання.



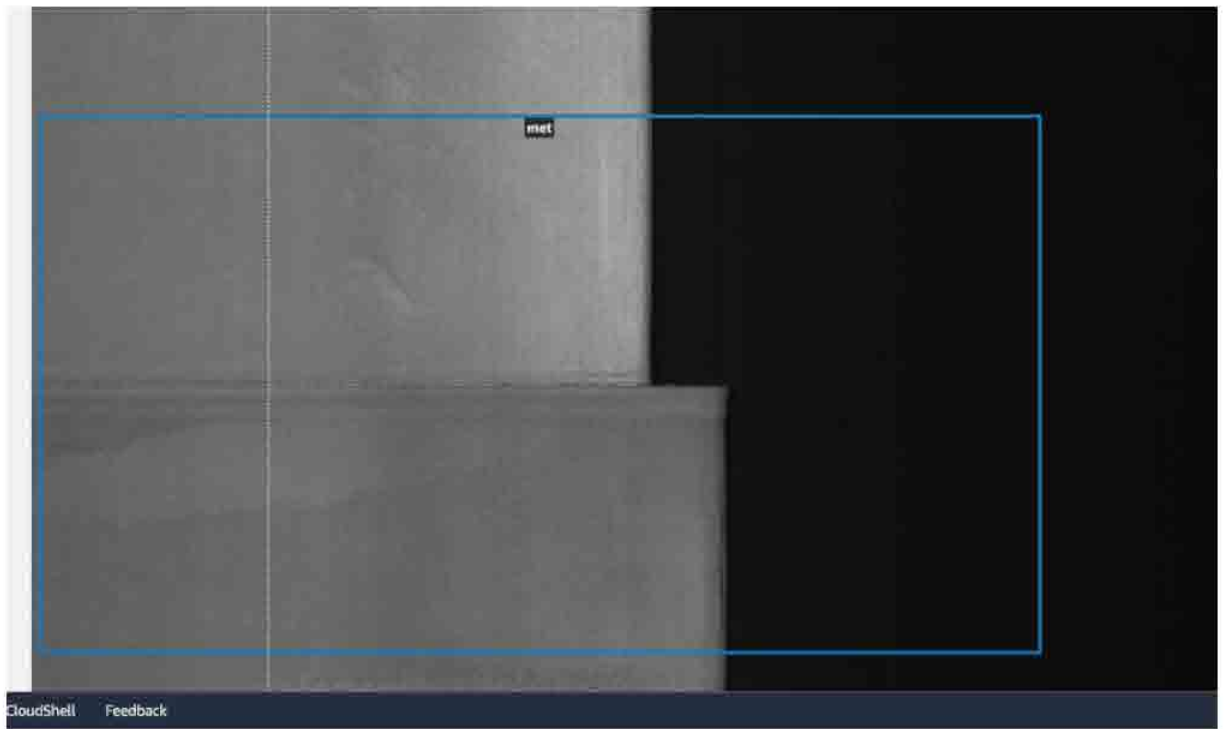
Рисунок 2.4 Робот KUKA KR 16 R1610

2.2. Використання машинного зору

Для роботи з робототехнічним обладнанням використовуються також камери машинного зору. Один з можливих дефектів – це неправильне геометричне положення рами при зварюванні. Тому для автоматизації процесу використовували камери з натренованими моделями глибокого навчання. Типові дефекти наведені на рис. 2.5, а правильне розташування – рис 2.6.



a)



b)

Рисунок 2.5 Дефекти геометрії після зварювання



а)



б)

Рисунок 2.6 Правильна геометрія після зварювання

Для тренування моделі глибокого навчання проводимо навчання моделі розміткою досліджуваних областей.

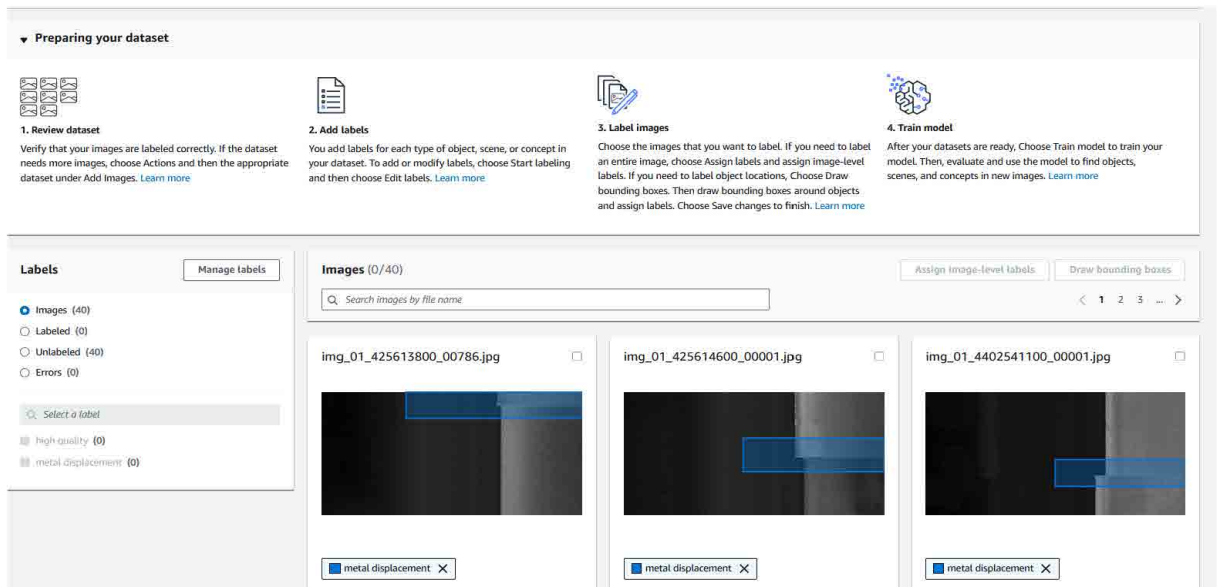


Рисунок 2.7 Розмітка можливих дефектних зон

Результат натренованої моделі (рис. 2.8)

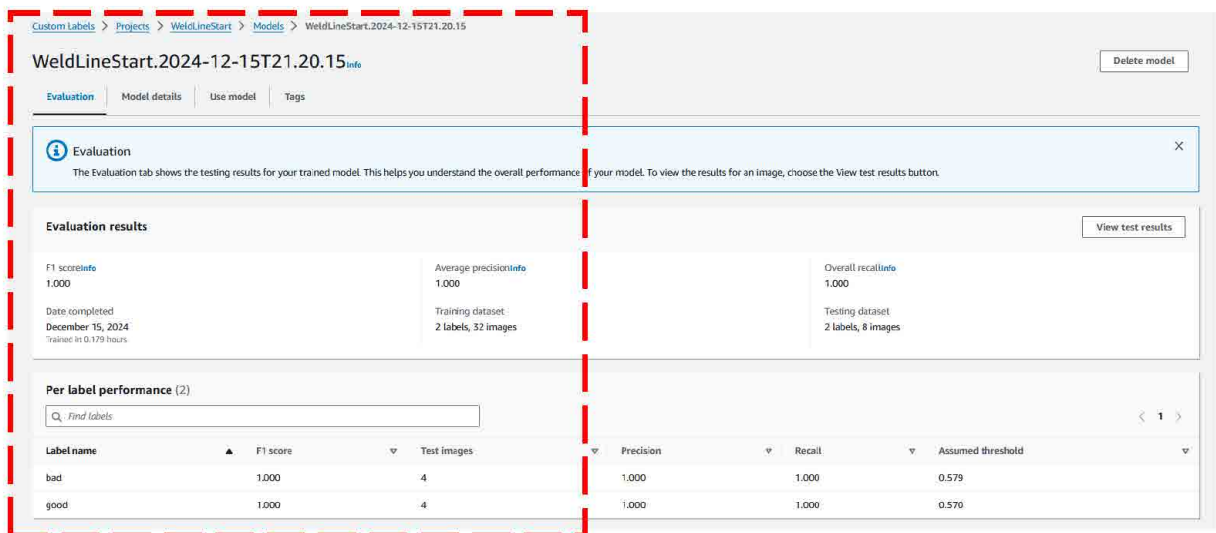


Рисунок 2.8 Результати тренування моделі глибокого навчання

Виконали порівняння класичної моделі машинного зору та моделі глибокого навчання (рис.2.9). Класична модель розпізнала недостовірно даний дефект.

img_05_425613800_00787.jpg



Box #	Labels	Confidence
3	metal displacement True positive	80.5%
2	high quality False positive	70.2%

+ Show 3 more labels

a)

Images | Flickr

img_01_425614600_00001.jpg



Labels: bad
True positive

Confidence: 62.9%

img_04_425614600_00007.jpg



Labels: bad
True positive

Confidence: 64.8%

б)

Рисунок 2.9 Порівняння класичної моделі та моделі глибокого навчання

РОЗДІЛ 3

ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ КУКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ РАМИ

3.1 Збирання

Для автоматизації процесів складання та зварювання були використані роботи КУКА KR 16 та КУКА KR 8 arc HW (рис.3.1)

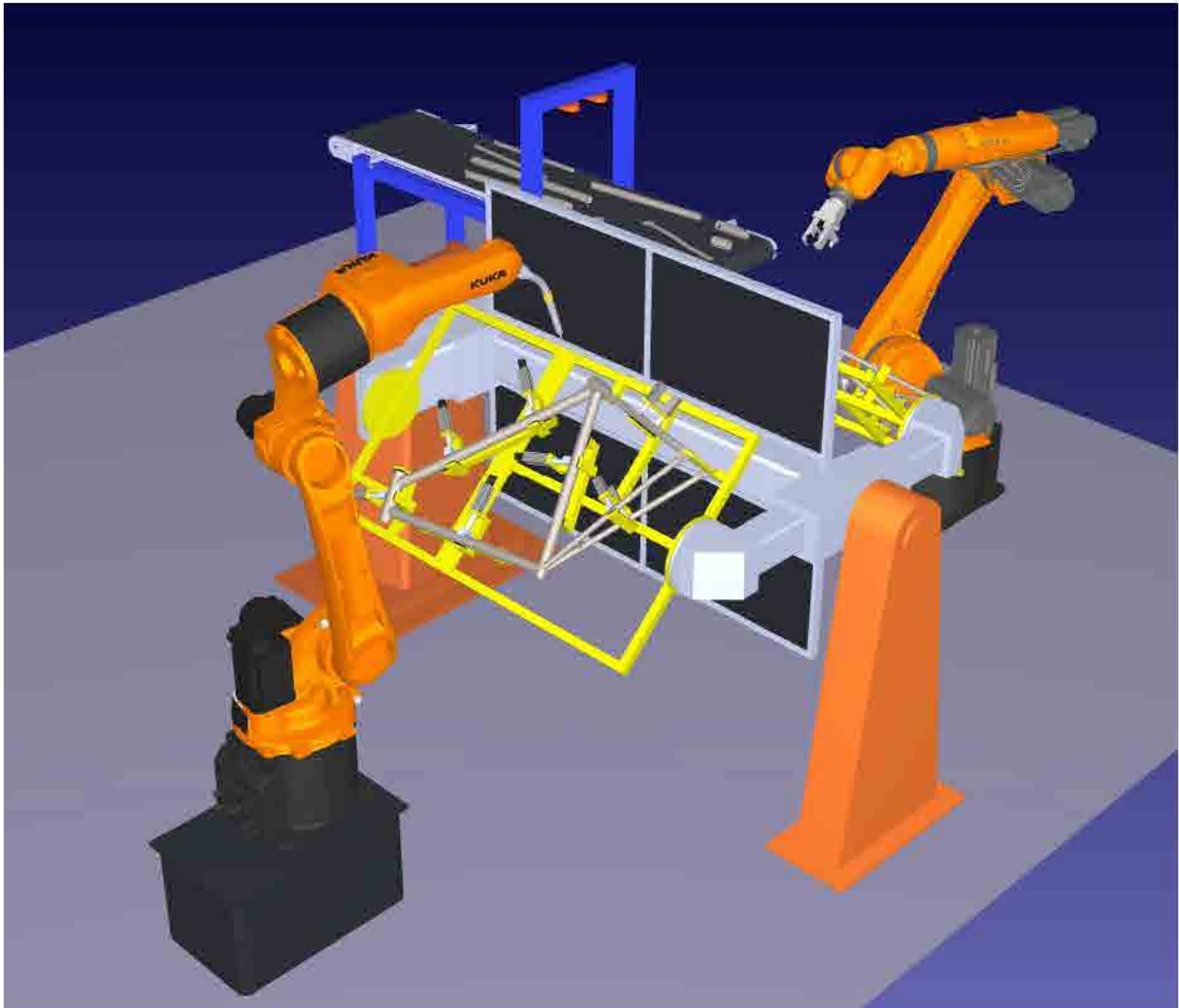


Рисунок 3.1 Загальний вигляд зони збирання та зварювання

Припаси транспортувалися з конвеєра (рис.3.2). Швидкість конвеєра ідентична тривалості роботи двох роботів, він також приводиться в рух при активації датчиків. На конвеєрі компоненти організуються в тому порядку, в якому вони повинні бути зібрані. Для вибору запчастин робот-

контролер KUKA KR 8 R1420 arcade HW підключається до системи машинного зору та виконує встановлену процедуру.

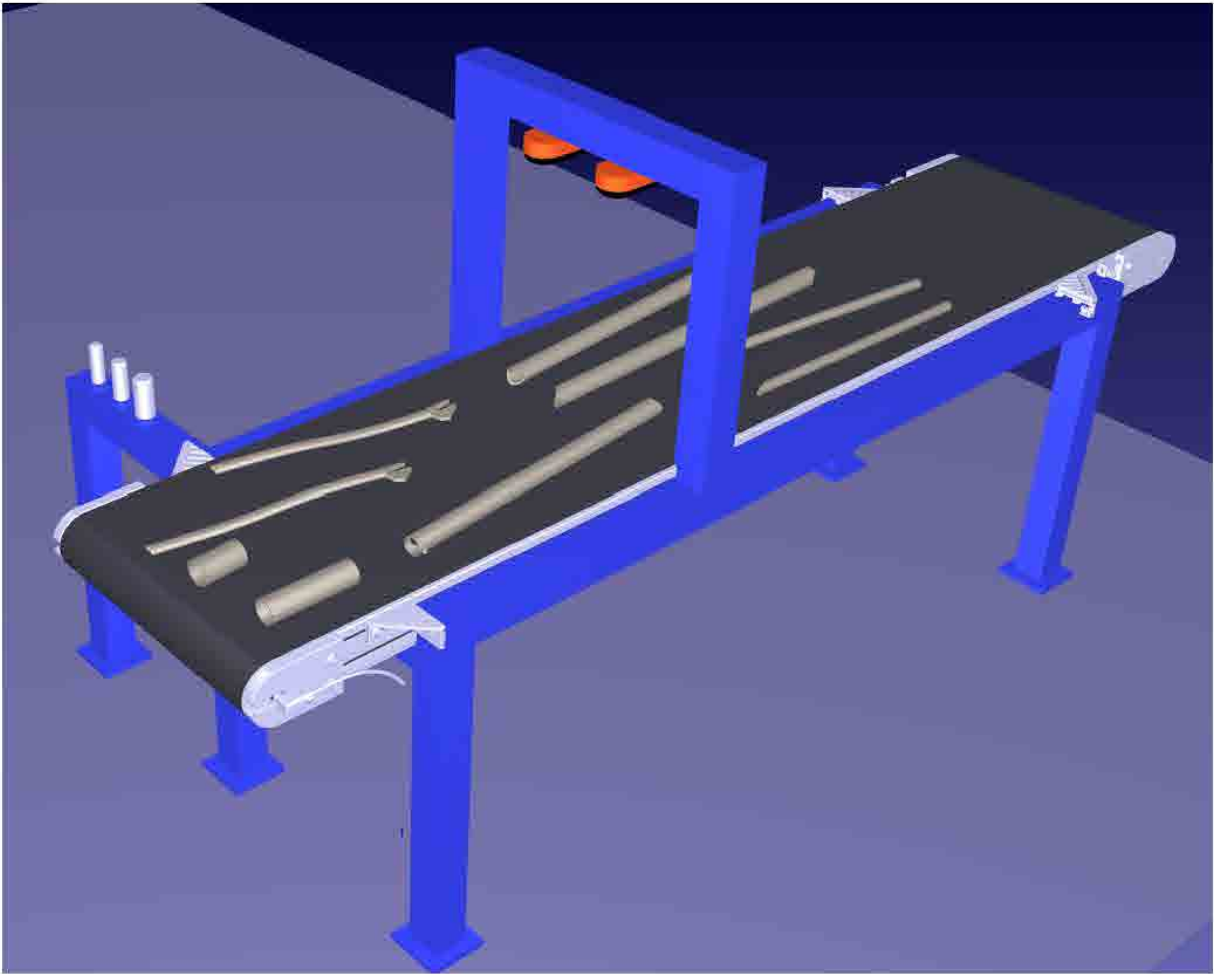


Рисунок 3.2 Конвеєр з попередньо встановленими частинами для складання.

Датчики розташовані на конвеєрі, щоб спостерігати за наявністю деталей.

Загальна область розміщення обладнання враховує доступність роботів (рис.3.3-3.4).

Після того, як апарат KUKA KR 8 R1420 arc HW розмістить деталі на стенді за допомогою маніпулятора, роботизований зварювальний апарат починає зварювати. Після закінчення першої процедури механізм повернеться на 180 градусів, і робот зможе виконувати зварювання в заздалегідь відведених місцях.

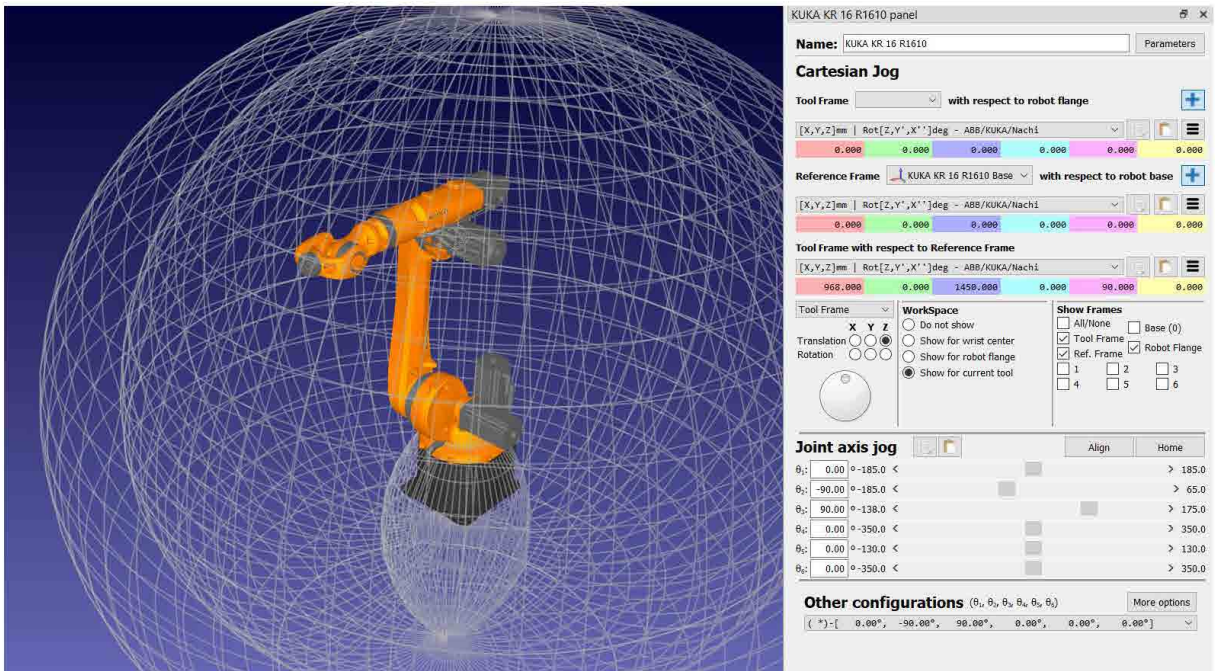


Рисунок 3.3 Загальний вигляд зони доступу робота-зварника KUKA KR 16 R1610.

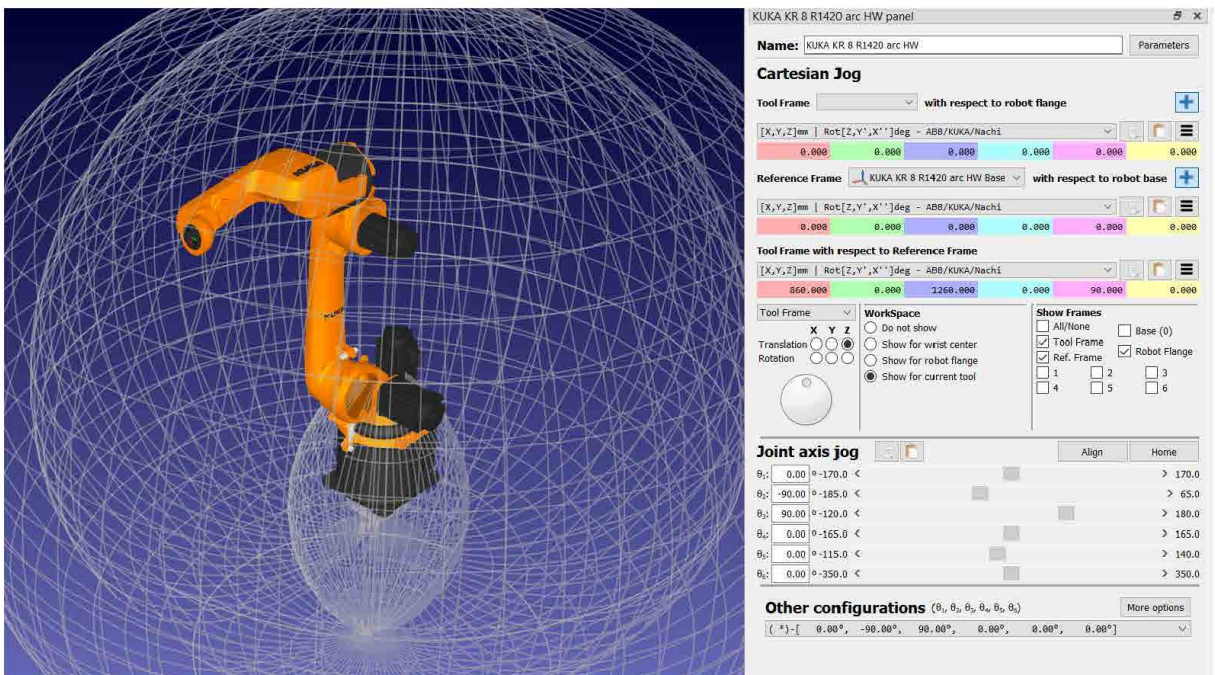
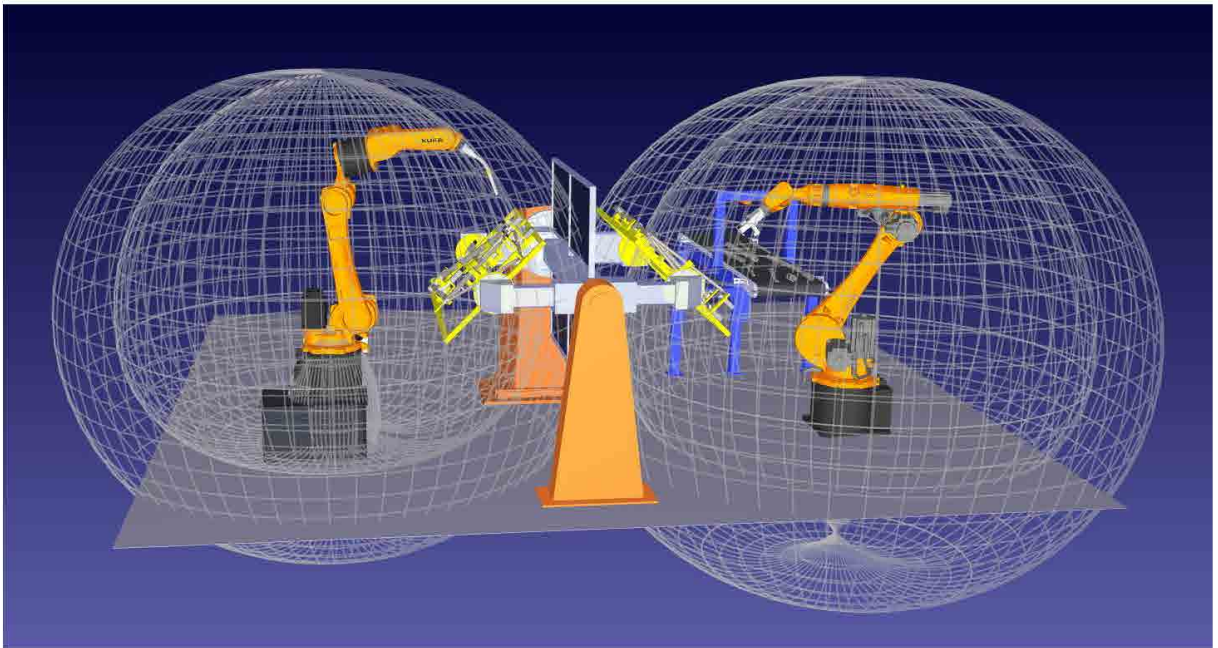
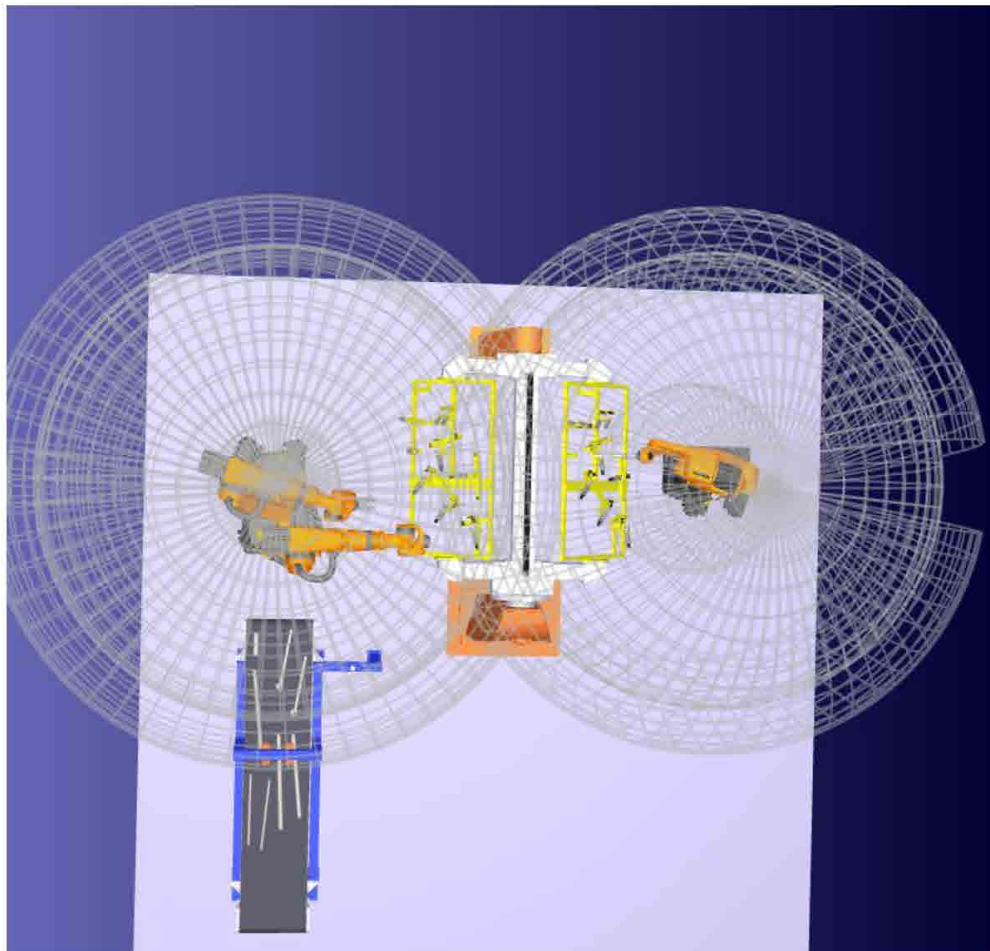


Рисунок 3.4 Загальний вигляд доступної зони KUKA KR 8



а)



б)

Рисунок 3.5 Загальний вигляд зон доступності роботів KUKA KR 16 та KUKA KR 8 для складання та зварювання рами: а – вид збоку, б – вид зверху

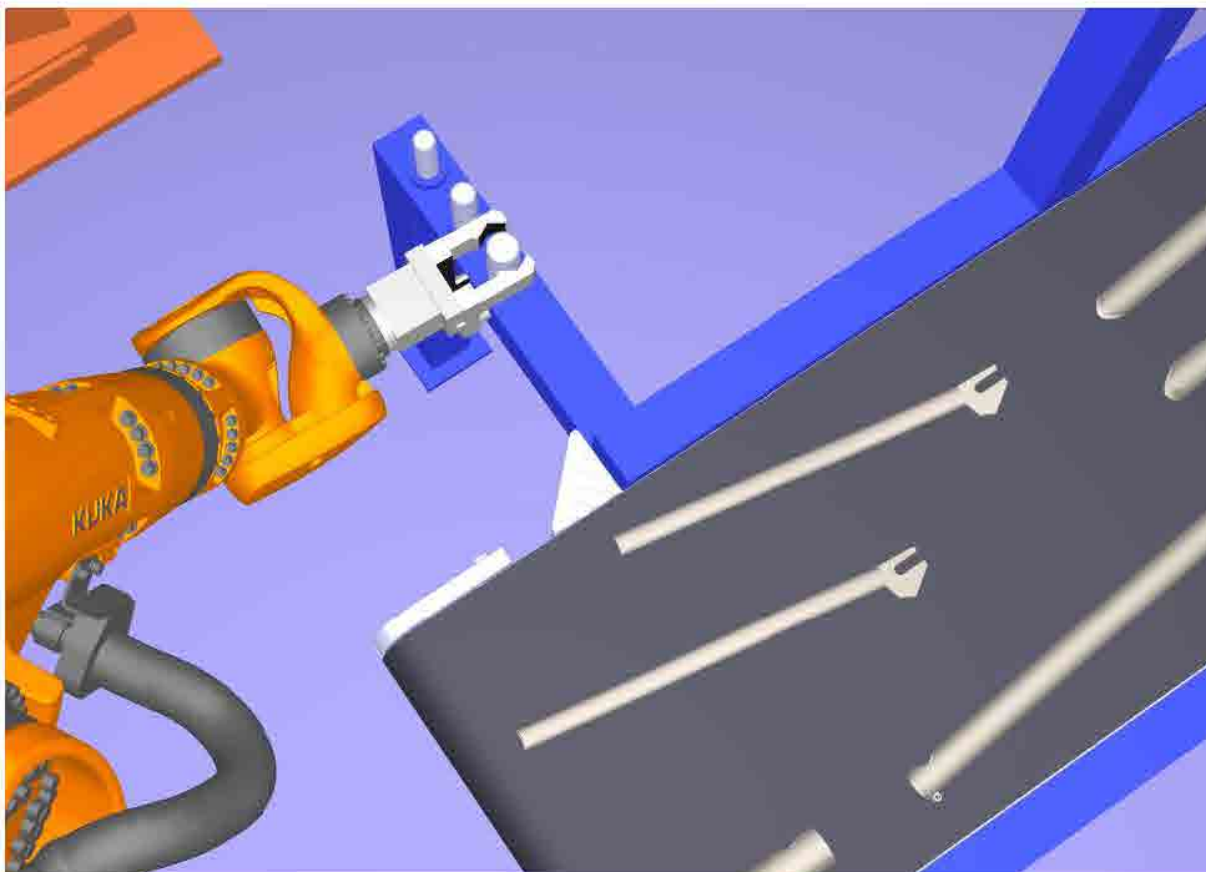


Рисунок 3.6 Захват робота KUKA KR 16 R1610

3.2 Процес зварювання

Труднощі, пов'язані з використанням роботизованих зварювальних апаратів, полягають у багатьох аспектах, включаючи технічні, операційні, фінансові та людські компоненти. Нижче наведено ключові аспекти цієї складності.

Роботи повинні мати спеціальне програмування, яке дозволяє їм виконувати певні зварювальні роботи з високою точністю. Це включає кодування точних рухів, вибір параметрів для зварювання та поєднання машин і датчиків. Розширені можливості програмування необхідні, особливо для складних сценаріїв зварювання та руху по кількох осях. Інтеграція роботизованого зварювання в існуючі виробничі лінії вимагає сумісності з іншими системами, включаючи управління матеріалами,

розміщення деталей і контроль якості. Це може бути складно, особливо якщо існуючі системи не розроблені для легкої інтеграції.

Роботи повинні мати відповідні специфікації для параметрів зварника (наприклад, струму, напруги та швидкості подачі), які відрізняються для різних матеріалів і товщини. Це вимагає всебічного розуміння процесів зварювання. Різні методи зварювання (MIG, TIG, точкове зварювання) мають особливі вимоги та адаптації. Роботизована рука і вся система зварювання повинні успішно працювати в необхідній техніці зварювання.

Процеси зварювання повинні мати високу точність, щоб забезпечити постійну якість зварювання. Це зумовлено постійною необхідністю налаштовувати та обслуговувати робота, щоб підтримувати його в хорошому стані. Точне калібрування робота та його датчиків має важливе значення для досягнення бажаних з'єднань. Це може бути повільним і складним технологічно.

Робота повинна бути в змозі адаптуватися до нових вимог дизайну виробів і потреби в різних типах зварних швів. Зазвичай це вимагає перепрограмування та реконфігурації, що є складним і трудомістким. Для різних типів зварювання може знадобитися різне обладнання або спеціальні пристрої, які необхідно замінити та повторно відкалібрувати для кожної роботи.

Крім того, зварювання потребує регулярного технічного обслуговування, щоб запобігти збоям і забезпечити постійну продуктивність. Це включає як механічне, так і електричне оновлення, а також обслуговування програмного забезпечення. Роботи, які використовуються в суворих умовах із високим ступенем труднощів (наприклад, високі температури, бризки), повинні мати високу міцність і часто проходити оцінку.

Вартість покупки та встановлення роботів, які використовують зварювання, спочатку висока. Це включає в себе витрати на роботів, паяльні машини, контролери та інтеграцію з уже існуючими системами.

Інвестиційний обґрунтування передбачає аналіз заощаджень від підвищення продуктивності, зниження витрат на робочу силу та підвищення якості порівняно з початковими інвестиціями та поточними витратами. Крім того, слід враховувати витрати, пов'язані з експлуатацією машини, включаючи спожиту енергію, використані витратні матеріали (наприклад, навчання персоналу експлуатації, програмуванню та обслуговуванню роботів, що використовуються для зварювання, вимагає додаткових витрат і часу. Експлуатація та технічне обслуговування роботизованих зварників вимагає спеціальних технічних навичок, яких немає у наявного персоналу. Це вимагає навчання та потенційного найму спеціалізованого персоналу.

Труднощі, пов'язані з використанням роботизованих зварювальних апаратів, складаються з технічних проблем, пов'язаних із програмуванням, інтеграцією, точністю та калібруванням, а також проблем, пов'язаних із експлуатацією, пов'язаними з гнучкістю, зручністю обслуговування та надійністю. Ці проблеми є фінансово значущими, початкова вартість висока, а поточні витрати значні. Успішне впровадження роботизованих зварювальних систем залежить від ретельного планування, значного фінансування та зосередженості на постійному вдосконаленні та адаптації з метою подолання цих перешкод і досягнення бажаних переваг.

Для поточної спроби для зварювання використовувалася роботизована рука KUKA KR 16 R1610, додатково використовувався вогнезахисний пальник FRONIUS (рис.3.7).

Перед початком зварювання раму тримали на місці спеціальними затискачами (рис. 3.8), а машину переміщали в початкову точку для зварювання (рис. 3.9).

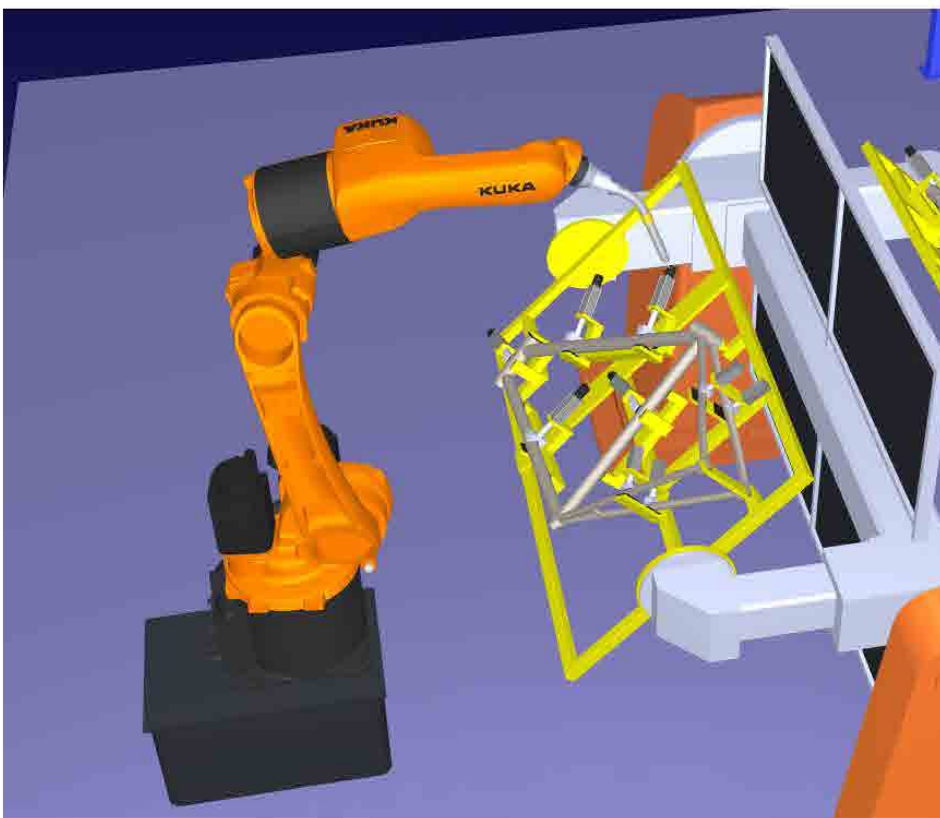


Рисунок 3.7 Загальний вигляд робота KUKA KR 16

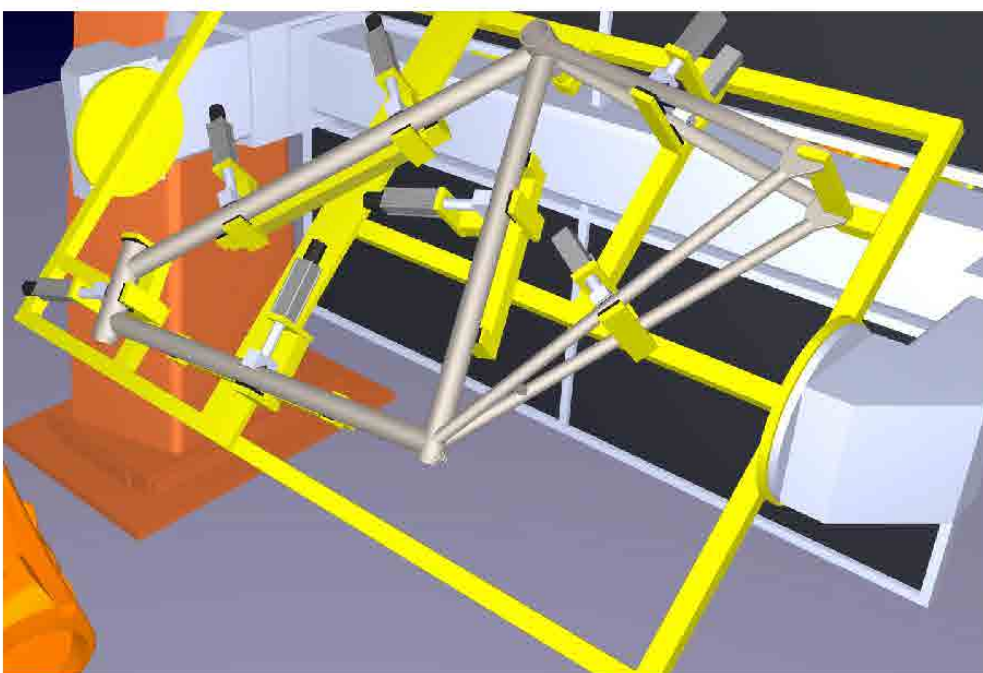


Рисунок 3.8 Загальний вигляд рами

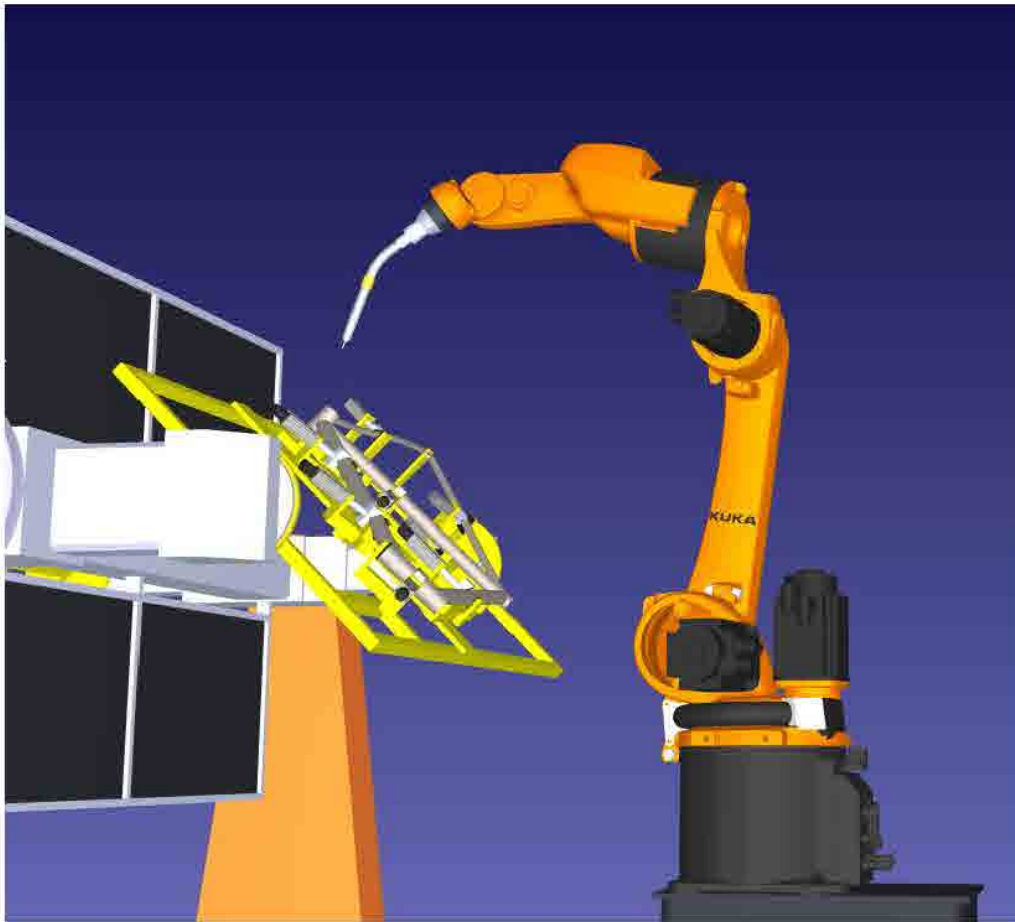


Рисунок 3.9 Стартова точка роботи

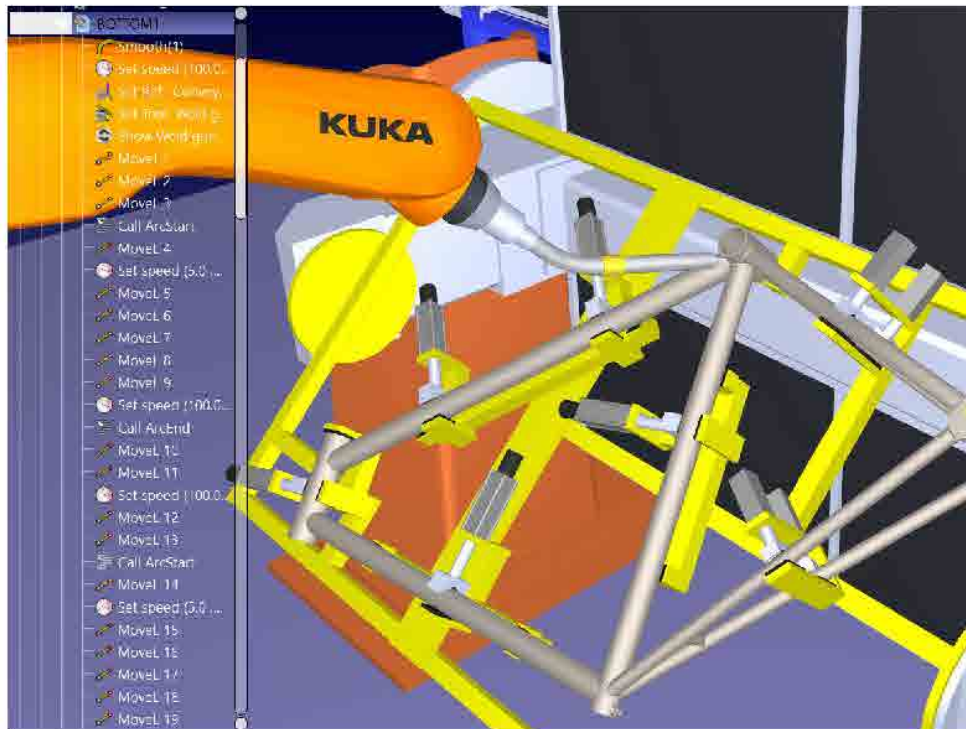


Рисунок 3.10 Представлення переміщень та моделювання

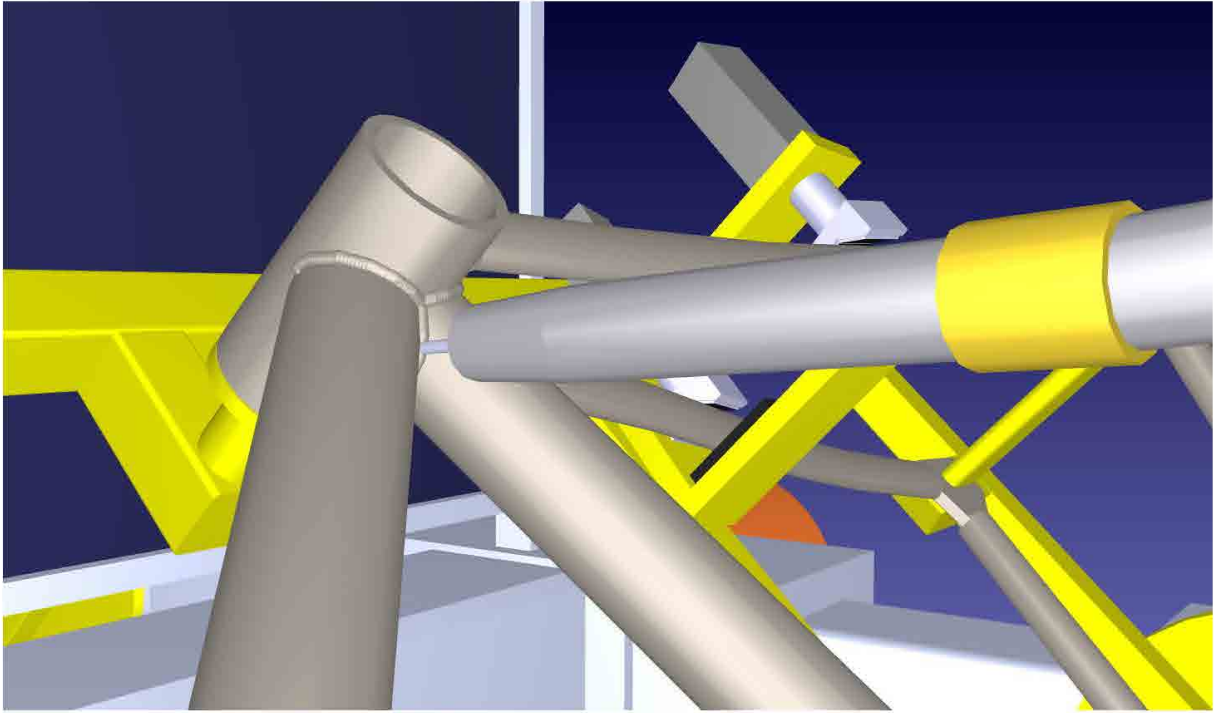


Рисунок 3.11 Моделювання зварювання шва

Сценарій Python написаний для підготовки до зварювання 10-точкової рами, яка має 10 різних точок обробки. Нижче наведено текст для однієї конкретної точки зварювання.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці при використанні промислових роботів

Роботи мають ряд попередньо запрограмованих функцій безпеки та електричних інтерфейсів для підключення інших пристроїв і додаткових пристроїв безпеки. Кожна функція та компонент безпеки оцінюються відповідно до EN ISO13849-1:2008.

Використання конфігурацій безпеки, які відрізняються від тих, що визначені оцінкою ризиків, проведеною розробником системи, може призвести до небезпек, які недостатньо пом'якшені, або ризиків, які недостатньо пом'якшені.

Конфігурація та використання пов'язаних із безпекою функцій та інтерфейсів має ґрунтуватися на оцінці ризику, проведеної розробником системи для конкретного застосування роботів.

Якщо роботизована система виявляє несправність або порушення в системі безпеки, наприклад, через обрив одного з проводів ланцюга аварійної зупинки, несправність датчика положення або порушення межі системи безпеки, зупинка категорії 0 відбувається. Найкоротший проміжок часу від виявлення помилки до зупинки роботизованого пристрою, зазначений у кінці цього розділу. Цей період слід розглядати як частину оцінки ризиків, яку проводить розробник системи.

Робот має кілька функцій безпеки, які можна використовувати для обмеження руху його суглобів і центральної точки інструменту (СТІ). СТІ є центральною точкою додаткового простору кріпильного фланця, плюс зсув СТІ.

Час безпечної зупинки – це тривалість від пов'язаної з безпекою несправності або порушення до моменту, коли робот повністю зупиняється та вмикаються механічні гальма. Заходи проводяться з наступною конфігурацією роботів:

- Висновок: 100% (маніпулятор, який використовують роботи, повністю вертикальний у горизонтальній площині).

- Швидкість: швидкість СТІ системи безпеки обмежена описаною швидкістю.

Корисне навантаження: максимальна вага, яку можна застосувати до роботизованої системи на СТІ (8 або 16 кілограмів).

Найбільш екстремальне значення часу для вимкнення за категорією 0, яке відбувається через порушення безпеки або порушення інтерфейсу, наведено в наступній таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Швидкість зупинки робота при спрацюванні датчиків захисту

Межа швидкості ЦТІ, м/сек	Максимальний час зупинки, мс
1.0 m/s	450
1.5 m/s	500
2.0 m/s	550
1.5 m/s	600
3.0 m/s	650

Якщо робот-маніпулятор наближається до межі безпеки, розширене програмне забезпечення для керування траєкторією зменшить швидкість його руху або запустить програму зупинки. У результаті кордони порушуватимуться лише у виняткових ситуаціях. Однак, якщо кордон переступить, система безпеки припинить будь-яку діяльність.

У середньому тривалість часу, необхідного для розпізнавання загрози датчиками роботів, становить 100-250 мілісекунд, час реакції і зупинки – 1100-1250 мілісекунд.

4.2 Безпека у надзвичайних умовах

Запобігання безпеці в надзвичайних ситуаціях із залученням роботів, які використовують зварювання, має вирішальне значення для захисту працівників, обладнання та об'єктів. Надзвичайні ситуації можуть включати збої в електроживленні, механічні проблеми або інші неминучі події. Нижче наведено основні протоколи безпеки та заходи, які слід застосовувати.

1. Відключення електроенергії (знеструмлення)

Налаштування ДБЖ. Використання джерела живлення, яке не переривається, для забезпечення живлення контролера та основних систем під час відключення електроенергії. Це сприяє безпечному вимкненню.

Аварійне вимкнення живлення (ЕРО). Переконайтеся, що робот має аварійний вимикач живлення, який негайно вимкне живлення робота у разі надзвичайної ситуації.

Своєчасне відключення. Реалізація процедур відключення роботизованого зварювального апарату при збоях в електроживленні. Це зменшує ймовірність поранити робота та предмет.

Зберігання даних. Постійно поповнюйте робочі дані та автоматизуйте програму, щоб запобігти втраті даних під час збоїв живлення.

Методи відновлення живлення.

Перезапуск протоколу. Створення протоколів, які дозволять безпечно перезапустити роботизовану систему після відновлення живлення, включаючи протоколи для тестування та калібрування.

Освіта оператора. Навчання операторів тому, як вирішувати проблеми з електропостачанням і як правильно відновити подачу електроенергії.

2. Механічні несправності

Профілактичний догляд. Планування планового технічного обслуговування для перевірки та ремонту механічних компонентів робота, щоб уникнути несподіваних несправностей.

Заміна деталей. Ефективна заміна зношених або пошкоджених деталей.

Положення кнопок аварійної зупинки. Надання громадськості легкого доступу до притулків для надзвичайних ситуацій поблизу роботизованої зони. Ці кнопки повинні миттєво зупинити всі рухи роботизованої системи.

3. Безпека вогню та потенційна небезпека випарів.

Забезпечте територію відповідною кількістю вогнегасників і переконайтеся, що вони легкодоступні.

Системи пожежогасіння. Розгляд можливого встановлення автоматичних систем пожежогасіння, особливо в місцях, де використовується зварювання.

Тренування щодо пожежної безпеки. Регулярне проведення протипожежних інструктажів, щоб переконатися, що всі співробітники знають, як безпечно евакуюватися.

Видалення диму. Встановлення ефективних систем димовидалення та вентиляції для усунення небезпечних димів і газів, які утворюються під час зварювання.

Моніторинг. Використання датчиків для вимірювання якості повітря та визначення небезпеки пари.

4. Навчання з техніки безпеки та протоколу

Ініціативи безпеки. Реалізація комплексних планів безпеки, які включають надзвичайні процедури для різних ситуацій.

Символи безпеки. Позначення розташування аварійних дверей, аварійних стопорів та інших пристроїв безпеки.

5. Резервно-охоронні системи

Системи резервного копіювання. Впровадження систем резервного копіювання для основних роботизованих функцій, які забезпечують безперервну роботу системи під час незначних збоїв.

Контролери безпеки. Використання менеджерів з безпеки, які можуть спостерігати за надзвичайними ситуаціями та забезпечувати безпечну роботу робота.

Блокування. Встановлення систем блокування на дверях, огорожах та інших перешкодах, які перешкоджають доступу до зони, призначеної для роботи роботизованого процесу.

Механізми запобігання відмови. Проектування системи з відмовостійкими механізмами, які переходять у безпечний стан, коли виникає несправність.

6. Комунікація та нагляд

Будильники. встановлення систем екстреного сповіщення для інформування персоналу про неминучі небезпеки, такі як відключення електроенергії, пожежі або механічні несправності.

Протоколи зв'язку. Розробка протоколів зв'язку та реагування на надзвичайні ситуації.

Постійне спостереження. Використання систем моніторингу в реальному часі для спостереження за поведінкою роботів і раннього виявлення проблем.

Спостереження на відстані. Впровадження функцій віддаленого моніторингу, які дозволяють менеджерам спостерігати за операціями та швидко реагувати на надзвичайні ситуації.

Забезпечення безпеки роботів під час надзвичайних ситуацій вимагає цілісного підходу, який включає належне обладнання, регулярне технічне обслуговування, ефективні протоколи безпеки, комплексне навчання операторів і постійний моніторинг. Реалізація цих кроків допоможе зберегти працівників, зберегти обладнання та підтримувати безпечне робоче середовище навіть у разі відключення електроенергії чи механічних збоїв.

РОЗДІЛ 5

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ

Процес розрахунку типового часу, необхідного для роботизованого зварювального апарату, складається з кількох етапів і компонентів. Стандарти часу визначаються за допомогою формул, які враховують різні фактори, такі як швидкість зварювальника, тривалість кар'єри зварювальника, кількість зроблених зварних швів і час, витрачений на налаштування зварювального апарату. Ми оцінимо типову кількість часу, витраченого на зварювання.

Для використання робота UR-10 визначимо похідні умови.

Швидкість, з якою робот виконує зварювання, у одиницях за хвилину (мм/хв) приймаємо рівною $S = 200$ мм/хв).

Середня довжина зварного шва $L = 100$ мм.

Кількість окремих зварних швів на раму $N = 10$ швів.

Час, необхідний для налаштування робота для зварювання приймаємо $T_{\text{нал}} = 5$ хв, хоча він буде суттєво залежати від особливостей рамної конструкції, зварювального матеріалу, режимів обробки.

Час, необхідний для позиціонування робота для зварювання окремого шва приймаємо рівним $T_{\text{поз}} = 10$ с.

Час, необхідний для остаточних налаштувань після зварювання $T_{\text{ост.нал}} = 2$ хв.

Розрахуємо час зварювання для кожного шва ($T_{\text{звар}}$):

$$T_{\text{звар}} = \frac{L}{S}, \quad (1)$$

де

L - довжина зварного шва, мм.

S - швидкість зварювання, мм/хв.

Для зварювання рами:

$$T_{\text{звар}} = \frac{L}{S} = \frac{100}{200} = 0,5 \text{ хв.}, \quad (2)$$

Розрахуємо загальний час зварювання ($T_{\text{заг.звар.}}$):

$$T_{\text{заг.звар.}} = T_{\text{звар}} \times N, \quad (3)$$

де N – кількість зварних швів, шт.

$$T_{\text{заг.звар.}} = \frac{0,5 \text{ хв}}{\text{шов}} \times 10 = 5 \text{ хв.}, \quad (4)$$

Розрахуємо загальний час позиціонування ($T_{\text{поз.}}$):

$$T_{\text{поз.}} = T_p \times N, \quad (4)$$

де T_p - час позиціонування на шов у хвилинах.

Конвертуємо час позиціонування у хвилини:

$$T_p = \frac{10 \text{ сек}}{60} = 0,1667 \text{ хв.}, \quad (5)$$

Для нашого прикладу:

$$T_{\text{заг.поз.}} = 0,1667 \text{ хв.} \cdot \frac{\text{шов}}{\text{шов}} \times 10 = 1,667 \text{ хв.}, \quad (6)$$

Виконаємо розрахунок загального часу (T_{total}):

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{нал}} + T_{\text{заг.звар.}} + T_{\text{заг.поз.}} + T_{\text{ост.нал.}}, \quad (7)$$

$$T_{\text{заг}} = 5\text{хв.} + 5\text{хв.} + 1,667\text{хв.} + 2\text{хв.} = 13,667\text{хв.}, \quad (8)$$

У результаті загальний час, необхідний для процесу зварювання, включаючи налаштування, зварювання, позиціонування та остаточні налаштування, становить приблизно 14 хвилин. Цей розрахунок полегшує стандартизоване вимірювання часу, присвяченого зварюванню, для планування та планування виробництва.

Практичний досвід використання роботів, які використовують зварювання, свідчить про час, який приблизно в 5 разів менший за час людини.

Використання робота-зварника у виробництві може мати значний вплив на різні аспекти виробництва, включаючи продуктивність, витрати, якість та ефективність. Ми будемо використовувати формули та показники для вимірювання цих ефектів.

Підвищення продуктивності. Продуктивність можна виміряти у вигляді випуску продукції за одиницю часу. Впровадження зварювального робота дозволяє розрахувати підвищення продуктивності за наступною формулою:

$$P_{\text{прод.}} = \left(\frac{P_{\text{роб.}} - P_{\text{ручн.}}}{P_{\text{ручн.}}} \right) \times 100, \quad (9)$$

де $P_{\text{роб.}}$ – випуск продукції (рам) з використанням зварювального робота (одиниць/день); $P_{\text{ручн.}}$ - випуск продукції (рам) при ручному зварюванні без використання зварювального робота (одиниць/день).

Економія витрат. Економію витрат можна розрахувати, порівнюючи загальні витрати до і після впровадження зварювального робота.

$$E_{\text{витр.}} = (E_{\text{труд.витр.}} + E_{\text{зменш.деф.}} + E_{\text{мат.}}) - V_{\text{варт.робота}}, \quad (10)$$

де $E_{\text{труд.витр.}}$ - економія на трудових витратах (зменшення витрат на робочу силу завдяки автоматизації); $E_{\text{зменш.деф.}}$ - економія від зменшення дефектів (економія завдяки зменшенню дефектів і повторної обробки); $E_{\text{мат.}}$ – економія матеріалів (економія завдяки більш ефективному використанню матеріалів); $V_{\text{варт.робота}}$ - вартість робота (початкові інвестиції та витрати на обслуговування робота).

Рентабельність інвестицій (ROI). ROI є ключовим показником для оцінки фінансової вигоди від впровадження зварювального робота.

$$ROI = \left(\frac{E_{\text{чист.економ.}}}{I_{\text{заг.інвест.}}} \right) \times 100, \quad (11)$$

де $E_{\text{чист.економ.}}$ – чиста економія (загальна економія від підвищення продуктивності та зниження витрат); $I_{\text{заг.інвест.}}$ – загальні інвестиції (початкова вартість робота та будь-які додаткові витрати на впровадження).

Зменшення циклу часу. Цикл часу – це загальний час, необхідний для завершення одного циклу зварювального процесу. Впровадження зварювального робота може значно зменшити цикл часу.

$$T_{\text{цикл}} = \left(\frac{T_{\text{цикл.ручн}} - T_{\text{цикл.роб}}}{T_{\text{цикл.ручн}}} \right) \times 100, \quad (12)$$

де $T_{\text{цикл.ручн}}$ – тривалість циклу часу без впровадження робота; $T_{\text{цикл.роб}}$ – тривалість циклу часу з впровадженням промислового робота для зварювання;

Поліпшення якості. Поліпшення якості можна виміряти шляхом зниження рівня дефектів.

$$Q = \left(\frac{Q_{\text{р\iв.деф.ручн}} - Q_{\text{р\iв.деф.робот}}}{Q_{\text{р\iв.деф.ручн}}} \right) \times 100, \quad (13)$$

де $Q_{\text{р\iв.деф.ручн}}$ – рівень дефектів без робота, %; $Q_{\text{р\iв.деф.робот}}$ – рівень дефектів з роботом, %

Загальна ефективність обладнання (OEE). OEE – це міра того, наскільки ефективно використовується виробнича операція. Вона враховує доступність, продуктивність та якість.

$$OEE = (D_{\text{доступність}} + Pr_{\text{продуктивність}} + Q_{\text{якість}}), \quad (10)$$

де $D_{\text{доступність}}$ – доступність (частка запланованого часу, протягом якого обладнання доступне для роботи); $Pr_{\text{продуктивність}}$ - продуктивність (наскільки добре обладнання працює у порівнянні з його максимальною потужністю); $Q_{\text{якість}}$ - якість (частка якісних одиниць продукції у порівнянні з загальною кількістю виробленої продукції).

Розрахуємо ефективність впровадження промислового робота UR-10 для зварювання рами.

Випуск без робота: 100 одиниць/день

Випуск з роботом: 150 одиниць/день

Економія на трудових витратах: 50000/місяць

Економія від зменшення дефектів: 20000/місяць

Економія матеріалів: 10000/місяць

Вартість робота бувшого у використанні: 400,000 (початкові інвестиції) + 40000/рік (обслуговування)

Цикл часу без робота: 10 хвилин/одиниця

Цикл часу з роботом: 5 хвилин/одиниця

Рівень дефектів без робота: 5%

Рівень дефектів з роботом: 2%

Для розрахунку ОЕЕ

Доступність: 90%

Продуктивність: 85%

Якість: 98%

Підвищення продуктивності:

$$P_{\text{прод.}} = \left(\frac{150-100}{100} \right) \times 100 = 50\% \quad (9)$$

Економія витрат:

$$E_{\text{витр.}} = (50000 + 20000 + 10000) - \left(\frac{400000}{12} + \frac{40000}{12} \right) = 80000 - 18340 = 43334 \text{ грн на місяць.}$$

Рентабельність інвестицій (ROI).

$$ROI = \left(\frac{(50000+20000+10000) \times 12 - 200000 - 20000}{100000+10000} \right) \times 100 = 236\% \quad (11)$$

Зменшення циклу часу.

$$T_{\text{цикл}} = \left(\frac{10-5}{10} \right) \times 100 = 50\%, \quad (12)$$

Поліпшення якості.

$$Q = \left(\frac{5-2}{5} \right) \times 100 = 60\%, \quad (13)$$

Загальна ефективність обладнання (ОЕЕ).

$$OEE = (0,90 \times 0,85 \times 0,98) = 74,9\% \quad (14)$$

Таким чином виконано розрахунок економічної ефективності використання промислового робота для зварювання рами.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано процедуру використання потужності плазми роботизованої рами на поверхні. Механізм, відомий як KUKA KP1 H250 EN980, мав 1-осьову вісь зовнішнього обертання, яка використовувалася для обертання рами. Для процесу складання використовувалася роботизована система з меншим навантаженням - система KUKA KR 8 R1420 arc HW (6-осьова система маніпулятора, навантаження 8 кг, радіус дії 1421 мм). Для моделювання процесу роботи зварювальника використовувався робот-маніпулятор KUKA KR 16 R1610 (6-осьовий, максимальна вантажопідйомність 16 кг і діапазон руху 1612 мм).

2. Був побудований прототип взаємодії між роботами та людиною у виробництві та зварюванні, цей прототип полегшив програмування роботів та визначення ефективних методів їх використання.

3. Підвищена довговічність технології порівняно з традиційними методами пояснюється вдосконаленням процесів зварювання та покращенням властивостей зварних швів.

4. Ефективність виконаної операції розраховується з впровадження роботизованої руки для зварювання рами. Це призводить до наступного. Ефективність впровадження дозволяє скоротити виробничий цикл вдвічі при підвищенні якості на 60%. Продуктивність виробництва підвищується на 50%, а економія становить 43 тис. доларів на місяць на одній зварювальній станції. Крім того, загальний ККД обладнання становить 74,9%, що свідчить про те, що значної оптимізації можна досягти шляхом зменшення кількості використовуваного обладнання та підвищення його продуктивності. Частота повернення інвестицій є високою, що свідчить про самоокупність інвестицій.

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. Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Xi'an, 2018, pp. 1671-1675.
34. S. Hua, W. Lin, G. Hongming, "Remote welding robot system," International Workshop on Robot Motion & Control. IEEE, 2004.
35. 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.
36. 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.
37. 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,” *Jouranl 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.