

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**“Підвищення довговічності деталей з використанням
висококонцентрованих джерел енергії”**

Виконав: студент 4 курсу, групи Маш-42сп

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Владислав АНТОНЕНКО

(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.
“ ____ ” _____ 202 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Антоненко Владиславу Володимировичу

1. Тема роботи: **«Підвищення довговічності деталей з використанням висококонцентрованих джерел енергії»**

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

Затверджена наказом по університету від _____ року № _____ /к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи _____ 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	
1,2,3,4	Власовець В.М. д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: _____ 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>	27.11.23- 29.11.23	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Обґрунтування, вибір та реалізація інструментарію»</i>	16.12.23- 15.12.23	
3.	<i>Виконання розділу: «Використання роботів KUKA для збирання та плазмового зварювання рами»</i>	16.12.23- 08.02.24	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»</i>	09.02.24- 11.04.24	
5.	<i>Виконання розділу: «Визначення ефективності використання зварювальних роботів»</i>	12.04.24- 3.05.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	4.05.24- 15.06.24	

Студент _____
(підпис)

Олег ПАВЛЯК

Керівник роботи _____
(підпис)

Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

УДК 631.332

Підвищення довговічності деталей з використанням висококонцентрованих джерел енергії.

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

55 с. текст. част., 19 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	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ	9
1.1. Автоматизація процесів зварювання з використанням зварювальних роботів та машинного зору	11
1.2 Автоматизація процесів сприйняття глибини на основі машинного зору	17
1.3 Датчики роботизованого зварювання в промисловому застосуванні	24
1.4. Існуючі проблеми, запропоновані рішення та напрямки подальших досліджень	26
1.5. Висновки	31
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ	32
2.1. Устаткування для зварювання	32
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ КУКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ РАМИ	26
3.1. Процес збирання	26
3.2 Процес плазмового зварювання	29
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1 Охорона праці при використанні промислових роботів	55
4.2 Безпека у надзвичайних умовах	56
РОЗДІЛ 5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ	60
ВИСНОВКИ	66
Список використаних джерел	50

ВСТУП

Автоматизація зварювальних процесів за допомогою промислових роботів приносить численні переваги, які можуть значно покращити виробничі операції. До основних переваг слід віднести наступні.

Роботи можуть працювати безперервно, що підвищує загальну пропускну здатність зварювального процесу. Автоматизовані системи можуть зварювати на вищих швидкостях у порівнянні з ручним зварюванням, зменшуючи час циклу та збільшуючи темпи виробництва.

Зварювальні роботи забезпечують стабільну якість зварювання з точним контролем параметрів зварювання, зменшуючи варіабельність, пов'язану з ручним зварюванням. Автоматизовані системи можуть виконувати однакове зварювання постійно, забезпечуючи однакову якість усіх деталей.

Автоматизація зменшує потребу в ручній праці, що призводить до значної економії на витратах на робочу силу. Покращена точність та стабільність призводять до меншої кількості дефектів і повторних робіт, зменшуючи відходи матеріалів і пов'язані з цим витрати.

Автоматизовані зварювальні системи можуть бути оптимізовані для споживання енергії, що призводить до нижчих експлуатаційних витрат. Роботи можуть працювати в умовах, які небезпечні для людей, таких як високі температури або токсичні пари.

Автоматизація мінімізує вплив працівників на безпеки, пов'язані зі зварюванням, зменшуючи ризик нещасних випадків і травм. Сучасні зварювальні роботи можуть бути запрограмовані для виконання різних зварювальних завдань, що робить їх адаптивними до різних проектів і виробничих вимог.

Автоматизовані системи можуть швидко переналаштовуватися для переходу між різними продуктами або зварювальними процесами, підвищуючи гнучкість виробництва. Кілька роботів можуть працювати

одночасно на різних частинах деталі або на кількох деталях, значно збільшуючи виробничу потужність.

Автоматизовані зварювальні системи можуть бути інтегровані з іншими автоматизованими процесами, такими як транспортування матеріалів та контроль якості, для безперервної та ефективної виробничої лінії. Кваліфіковані зварювальники можуть бути перенаправлені на більш складні та цінні завдання, які вимагають людської експертизи, замість повторюваних зварювальних завдань. Автоматизація звільняє кваліфікованих працівників для зосередження на навчанні та розвитку нових навичок, підвищуючи загальний рівень кваліфікації працівників. Автоматизовані системи можуть бути оснащені датчиками та інструментами моніторингу для збору даних у реальному часі про параметри зварювання та продуктивність. Зібрані дані можуть бути використані для прогнозного обслуговування, зменшуючи простой та забезпечуючи оптимальний робочий стан обладнання. Детальний аналіз даних допомагає виявляти проблеми з якістю на ранніх стадіях, що дозволяє швидко вживати коригувальних заходів.

Автоматизація дозволяє виробникам швидко реагувати на вимоги ринку та зміни в потребах клієнтів. Автоматизовані системи створюють платформу для постійного вдосконалення та інновацій у зварювальних техніках і процесах.

Автоматизація зварювальних процесів пропонує значні переваги, які покращують продуктивність, якість, безпеку та економічну ефективність. Використовуючи сучасні роботизовані системи, виробники можуть досягти вищих рівнів продуктивності та зберігати конкурентні переваги в галузі.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

1.1 Автоматизація процесів зварювання з використанням зварювальних роботів та машинного зору

Виконали оцінку проведених досліджень у напрямку автоматизації процесів зварювання з використанням зварювальних роботів та машинного зору (рисунок 1.1). Досліджуваний період – 2018-2024рр. Дослідили кластери з якими працюють дослідники. Чим більше цитувань – тим більший розмір має коло. Чим воно світліше – тим більш свіжою є публікації, які входять до кластеру.

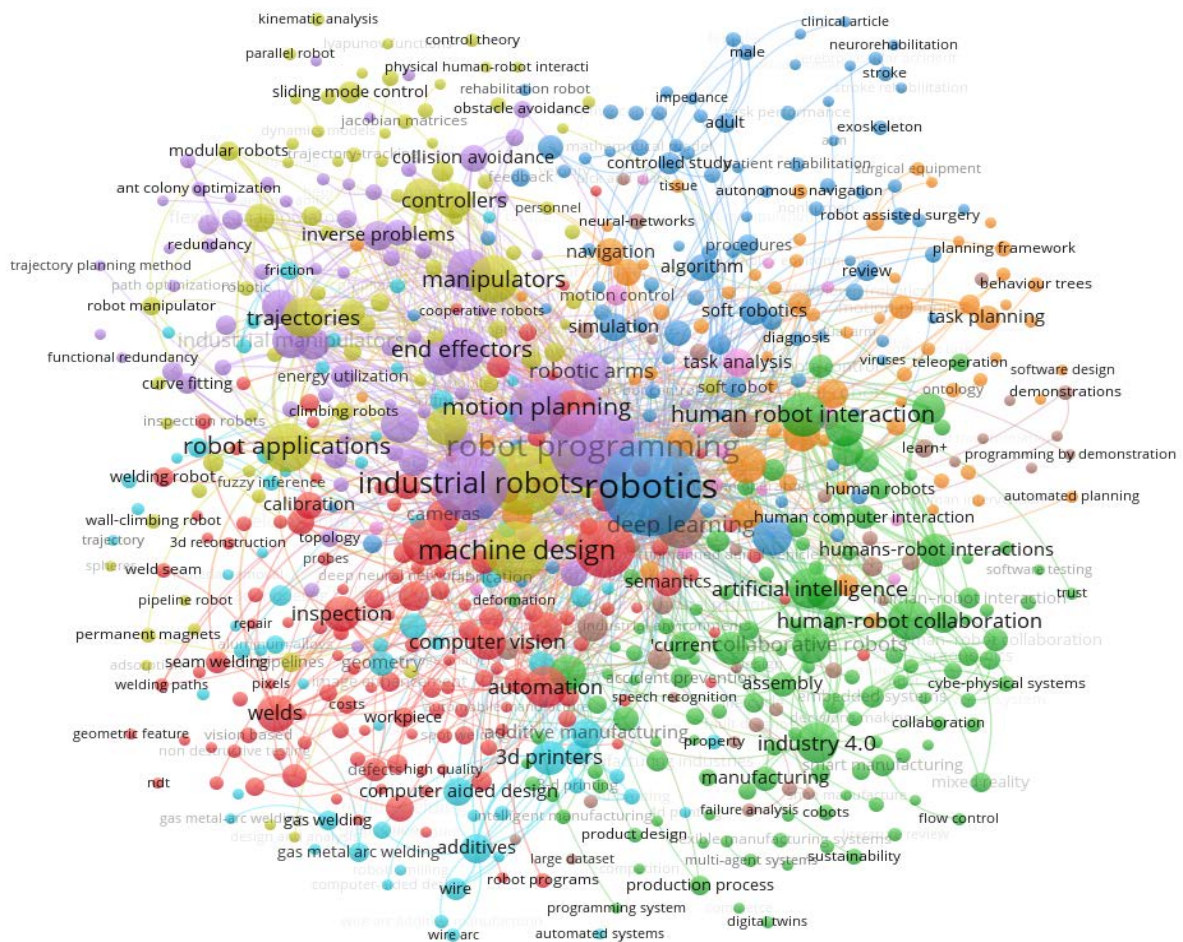


Рисунок 1.1 Кластери прикладних досліджень по автоматизації процесів зварювання з застосуванням промислових роботів за період 2018-2024рр (дані БД Scopus від 5.06.2024р.)

За останні десятиліття зварювання взяло на озброєння сучасні процеси автоматизації та використання систем машинного зору (рис.1.2), які в сукупності дозволяють отримувати якісні зварні шви з використанням промислових роботів.

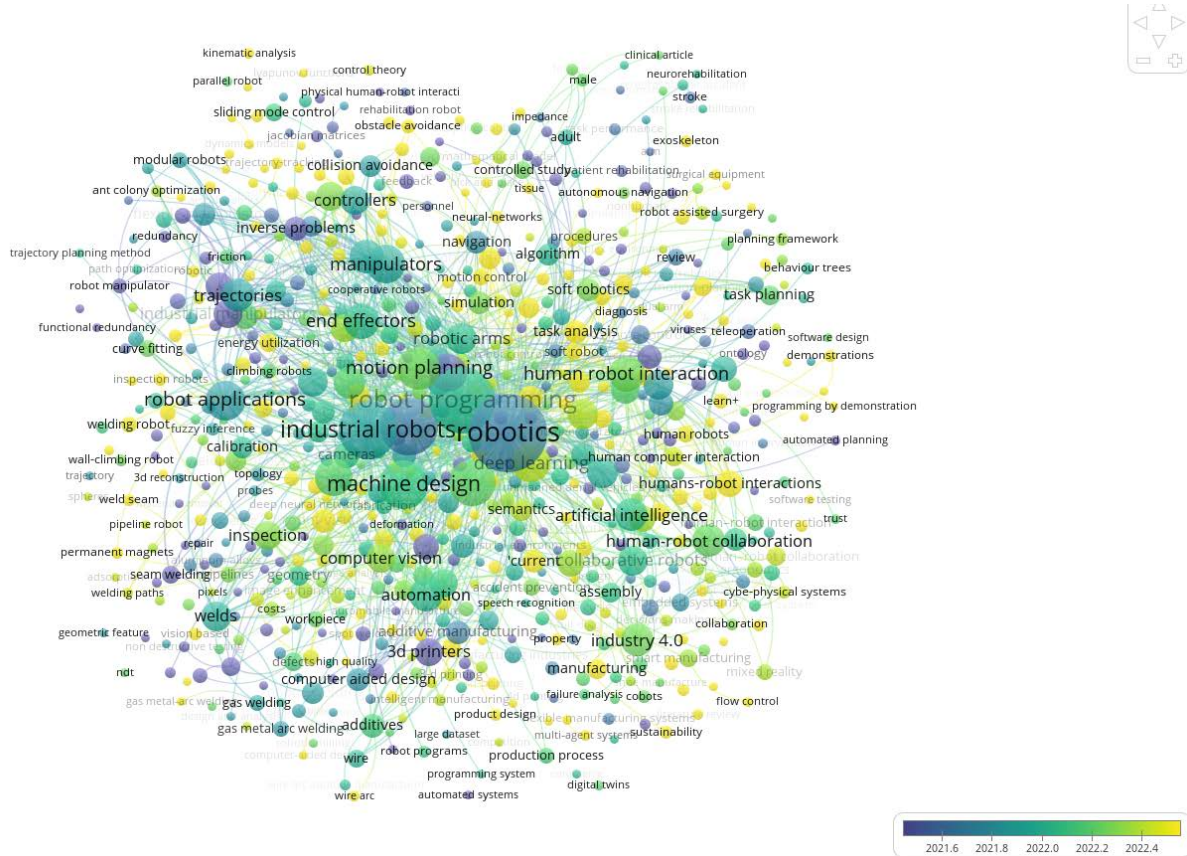


Рисунок 1.2 Інтенсивність прикладних досліджень по автоматизації процесів зварювання з застосуванням промислових роботів за період 2018-2024рр (дані БД Scopus від 5.06.2024р.)

В тому числі, як показує інтенсивність досліджень, зростає і інтенсивність роботів в даному напрямку (рис.1.3).

Взаємодія між камерами і зварюванням полягає в інтеграції технологій, зору і ділянок для контролю зварювального процесу [1,2]. Зважаючи на стрімкий розвиток штучного інтелекту [3], перспективи досліджень і розробок в області автоматизації та інтелекту роботизованого зварювання ніколи не були такими багатообіцяючими [4,5,6]. Вчені, інженери та зварювальники досліджують нові методи автоматизованого зварювання. За останні кілька

машинобудівне виробництво, безпека [16], автомобілебудування, електроніка, логістика та безпілотні літальні апарати [17]. Їх використання значно підвищує ефективність, точність і продуктивність за рахунок автоматизації процесів візуального контролю та управління.

Датчик машинного зору може також включати інші функції, такі як системи освітлення для покращення якості зображення, комунікаційні інтерфейси для обміну даними та інтеграцію з системами управління або роботами. Він працює в різних умовах освітлення для виявлення складних візерунків, кольорів, форм і текстур. Датчики технічного зору можуть обробляти візуальну інформацію в режимі реального часу, дозволяючи автоматизованим системам приймати рішення і виконувати дії.

Датчики машинного зору для зварювання мають характеристики безконтактного вимірювання, універсальності, високої точності та зчитування в режимі реального часу [18], надаючи потужну інформацію для автоматизованого контролю зварювання [19]. Однак отримання інформації про глибину є складним завданням при застосуванні датчиків машинного зору. Сприйняття глибини - це здатність сприймати тривимірний (3D) світ шляхом вимірювання відстані до об'єктів [20,21] за допомогою зорової системи [22-24], що імітує стереоскопічний зір людини та акомодативний механізм людського ока [25-28]. Сприйняття глибини має широкий спектр застосувань [29,30], таких як інтелектуальні роботи [31,32], автономне водіння [38], віртуальна і доповнена реальність [39], виявлення і відстеження об'єктів [40], людино-комп'ютерна взаємодія [41], 3D-реконструкція [42] і зварювальні роботи [43-45].

Датчики для зварювального процесу. Для відстеження зварювальних процесів широке застосування набув лазерний візонний датчик, який. При зміні положення шва датчики, що використовуються для пошуку зварювального шва, надають інформацію в режимі реального часу контролеру робота. Найпоширеніші зварювальні датчики включають датчики відстеження наскрізного дугового шва (TAST), датчики контролю напруги дуги (AVC),

сенсорні датчики, електромагнітні датчики, надзвукові датчики, датчики лазерного бачення тощо.

Датчики відстеження шва через дугу (TAST). Досягнуто [20] відстеження зварного шва та контролю геометрії зварювальної ванни, використовуючи дугу як датчик. Точкою виявлення сигналу є зварювальна дуга, що виключає помилки позиціонування датчика і не залежить від бризок, диму або відблисків дуги, що робить це рішення економічно ефективним. Комплексні математичні моделі [21,32] були розроблені та успішно застосовані для автоматичного відстеження зварного шва в роботах для дугового зварювання та автоматизованому зварювальному обладнанні. Комерційні робототехнічні компанії оснастили своїх роботів такими сенсорними пристроями [13].

Дуговий датчик відстеження зварного шва використовує дугу як датчик для виявлення змін зварювального струму, спричинених змінами довжини дуги [24]. Принцип роботи датчика полягає в тому, що при зміні положення дуги змінюються електричні параметри дуги, в першу чергу, відстань між зварювальним соплом і поверхнею заготовки. Таким чином, відносне відхилення положення між зварювальним пістолетом і зварювальним швом можна визначити за характером коливань дуги. У багатьох випадках типовий метод контролю наскрізного дугового шва (TAST) може оптимізувати ефективність відстеження зварювального шва шляхом регулювання різних змінних.

Перевагами TAST як методу відстеження зварного шва є його низька вартість, оскільки для нього потрібен лише датчик зварювального струму як апаратне забезпечення. Однак він вимагає побудови моделі керування відстеженням зварного шва, в якій робот регулює положення пальника у відповідь на зворотний зв'язок про зварювальний струм.

Датчики контролю напруги дуги (AVC). При газо-вольфрамовому дуговому зварюванні (GTAW) існує пропорційна залежність між напругою дуги і довжиною дуги. Датчики AVC використовуються для моніторингу змін

напруги дуги при зміні довжини дуги, забезпечуючи зворотний зв'язок для керування висотою пальника [15]. Через меншу чутливість до сигналів довжини дуги датчики AVC переважно використовуються для вертикального контролю, рідше - для контролю горизонтального зварного шва. Створення моделі датчика AVC є відносно простим і може використовуватися як при зварюванні імпульсним струмом, так і при зварюванні постійним струмом.

Лазерні датчики. Через обмеження, пов'язані з матеріалом або процесом, певні зварювальні процеси, такі як зварювання тонкого листа, не можуть використовувати датчики дуги для відстеження зварного шва. Потрібні додаткові датчики на роботизованій системі; популярним вибором є лазерні датчики.

Лазерні датчики не потребують моделі дуги і можуть визначити положення зварювального шва ще до початку зварювання. Коли в шві відбуваються зміни, робот динамічно налаштовує параметри зварювання або коригує відхилення траєкторії зварювання в режимі реального часу [26]. Системи лазерних датчиків відносно складні і мають жорсткі вимоги до зварювального середовища. Оскільки лазерний датчик встановлюється на зварювальному пальнику, він може обмежувати доступ пальника до зварювального шва. Пов'язаною з цим проблемою є невідповідність між положенням точки виявлення лазерного датчика і точкою зварювання, відома як помилка випередження позиціонування датчика.

Контактне зондування. Контактні датчики не потребують жодних функцій контролю відстеження зварного шва. Замість цього вони знаходять зварювальний шов перед подачею дуги і безперервно регулюють відхилення положення по всій траєкторії. Робот працює в режимі пошуку, використовуючи контакт для збору тривимірної інформації про положення зварного шва. Компенсація виявленого відхилення потім передається на контролер робота.

Типові контактні датчики відстеження зварного шва покладаються на зонди, які котяться або ковзають у канавці, щоб відобразити відхилення

положення між зварювальним пальником і зварним швом [17]. Вони використовують мікроперемикачі, встановлені всередині датчика, для визначення полярності відхилення, що дозволяє відстежувати зварювальний шов. Контактні датчики підходять для Х- і Y-подібних канавок, зварних швів з вузьким зазором і зварних швів під фальц. Контактні датчики широко використовуються для відстеження швів через їх просту структуру системи, легку експлуатацію, низьку вартість і той факт, що на них не впливають дим від дуги або бризки. Однак вони мають деякі недоліки, зокрема, різні типи канавок вимагають різних датчиків, а датчики потенційно зазнають значного зносу і легко деформуються, що робить їх непридатними для високошвидкісного зварювання.

Ультразвукове зондування. Принцип виявлення ультразвукових датчиків відстеження зварного шва полягає в наступному: Ультразвукові хвилі випромінюються датчиком, і коли вони досягають поверхні зварюваної деталі, вони відбиваються і приймаються ультразвуковим датчиком. Розрахувавши часовий інтервал між випромінюванням і прийомом ультразвукових хвиль, можна визначити відстань між датчиком і заготовкою. Для відстеження зварного шва використовується метод пошуку країв для виявлення відхилень лівого і правого країв зварного шва. Ультразвукове зондування може застосовуватися в таких методах зварювання, як зварювання під флюсом (GTAW) і дозволяє автоматично розпізнавати зварювальну заготовку [18,29]. Ультразвукове зондування пропонує значні переваги в галузі зварювання, включаючи безконтактне вимірювання, високу точність, моніторинг в режимі реального часу і широку частотну адаптивність. Усуваючи перешкоди на зварювальну заготовку і зменшуючи знос датчика, воно забезпечує точність і однорідність зварних з'єднань. Крім того, ультразвукові датчики дозволяють швидко виявляти проблеми і дефекти, що дає можливість операторам вчасно вживати заходів і забезпечувати якість зварювання. Однак ультразвукове зондування має певні обмеження, такі як висока вартість, суворі екологічні вимоги, обмеження щодо матеріалів, чутливість виявлення в ближній зоні та

складність експлуатації. Тому при впровадженні ультразвукового зондування важливе значення має комплексна оцінка конкретних вимог, витрат і технологічних міркувань.

Електромагнітне зондування. Електромагнітні датчики використовують зміни індукованих струмів у чутливих котушках, спричинені змінами індукованих струмів у навколишньому металі поблизу датчика. Це дозволяє датчику сприймати відхилення положення зварювального з'єднання. Подвійні електромагнітні датчики можуть виявляти відхилення зварного шва від центрального положення датчика [20,21]. Вони особливо підходять для процесів стикового зварювання конструкційних профілів, особливо для виявлення відхилень положення в зварювальних з'єднаннях з пофарбованими поверхнями, маркуванням і подряпинами. Вони також можуть забезпечити автоматичне розпізнавання положення зварювальних з'єднань без зазорів. Розроблено подвійні електромагнітні датчики для процесу дугового зварювання І-подібних стикових з'єднань у конструкційному зварюванні [32]. Вони виконували відстеження зварного шва шляхом безперервної корекції зміщення положення датчика в реальному часі.

Датчик технічного зору. Системи технічного зору можна розділити на активні датчики зору та пасивні датчики зору відповідно до джерела світла в системі технічного зору. Пасивні датчики технічного зору в основному використовуються для отримання інформації про зварювальну ванну, аналізу перенесення крапель розплавленого металу, розпізнавання форми зварного шва і відстеження зварного шва. У [23] запропоновано пасивну оптичну систему зчитування зображень з можливістю вторинної фільтрації для інтелектуального вилучення зображень зварювальних ванн з алюмінієвих сплавів на основі спектрального аналізу, яка дозволила отримати чіткі зображення зварювальних ванн з алюмінієвих сплавів.

Датчики активного зору використовують додаткові джерела світла для візуалізації, як правило, лазери. Принцип полягає у використанні лазерного діода і CCD-камери для формування датчика технічного зору. Червоне світло,

що випромінюється лазерним діодом, відбивається в зоні зварювання і потрапляє на ПЗС-камеру. Відносно положення лазерного променя на зображенні використовується для визначення тривимірної інформації зварного шва [14,15,16]. Для запобігання перешкод від складного спектрального складу зварювальної дуги і поліпшення якості зображення для ізоляції світла дуги можуть використовуватися лазери з певною довжиною хвилі. Методи розрахунку глибини включають перетворення Фур'є, вимірювання фази, контур Муаре та оптичну триангуляцію. По суті, вони аналізують просторове світлове поле, модульоване поверхнею об'єкта, щоб отримати тривимірну інформацію про зварювану заготовку.

Як пасивні, так і активні системи технічного зору можуть забезпечувати двовимірне або тривимірне бачення для контролю зварювання. Двовимірне зчитування в основному використовується для розпізнавання форми зварного шва і моніторингу зварювальної ванни. Тривимірне зондування може будувати моделі важливої інформації про глибину для машинного зору [27,28].

1.2 Автоматизація процесів сприйняття глибини на основі машинного зору

Наразі 3D-реконструкція широко застосовується в робототехніці [19], локалізації та навігації [70] і промислового виробництві [71]. Рисунок 4 ілюструє дві категорії методів глибоких обчислень. Традиційні алгоритми 3D-реконструкції базуються на багатовимірних геометріях. Ці алгоритми використовують зображення або відеодані, зняті з різних точок зору, і застосовують геометричні розрахунки та аналіз невідповідностей для реконструкції геометричної форми та інформації про глибину об'єктів у 3D-просторі. Методи, засновані на геометрії з декількох точок зору, зазвичай включають калібрування камери, зіставлення зображень, триангуляцію та заповнення пікселів для досягнення високоякісних 3D-реконструкцій.

Розглянемо візуальне сприйняття для зварювальних роботів на основі глибокого навчання, включаючи 3D-реконструкцію. Алгоритми глибокого

навчання використовують згорткові нейронні мережі (CNN) для вирішення проблеми 3D-реконструкції. Застосовуючи моделі глибокого навчання до зображень або відеоданих, ці алгоритми можуть отримувати інформацію про тривимірну структуру та глибину об'єктів за допомогою навчання та висновків. Завдяки наскрізному навчанню та автоматичному вивченню особливостей ці алгоритми можуть подолати обмеження традиційних підходів і досягти кращої продуктивності в 3D-реконструкції.

Традиційні алгоритми 3D-реконструкції можна розділити на дві категорії залежно від того, чи датчик активно освітлює об'єкти, чи ні [72]. Активні методи використовують лазерні, звукові або електромагнітні хвилі, які випромінюються в напрямку цільових об'єктів і приймають відбиті хвилі. Пасивні методи покладаються на камери, що фіксують відбиття навколишнього середовища (наприклад, природного світла), і спеціальні алгоритми для обчислення 3D-просторової інформації про об'єкти.

В активних методах, вимірюючи зміни властивостей відбитих світлових, звукових або електромагнітних хвиль, можна отримати інформацію про глибину залягання об'єктів. Для забезпечення точності та надійності необхідне точне калібрування та синхронізація апаратних пристроїв і датчиків.

На відміну від пасивних методів, захоплені зображення обробляються алгоритмами для отримання тривимірної просторової інформації про об'єкти [23,24]. Ці алгоритми, як правило, включають виділення ознак, зіставлення та триангуляцію для отримання інформації про глибину та форму об'єктів на зображеннях.

Активні методи. Структуроване світло - метод, який використовує проєктор для проєкування закодованого структурованого світла на об'єкт, що знімається, яке потім записується камерою [25]. Цей метод ґрунтується на різниці у відстані та напрямку між різними ділянками об'єкта відносно камери, що призводить до варіацій розміру та форми спроектованого малюнка. Ці варіації можуть бути зафіксовані камерою і оброблені обчислювальним блоком для перетворення в інформацію про глибину, таким чином отримуючи

тривимірний контур об'єкта [36]. Однак структуроване світло має деякі недоліки, такі як чутливість до перешкод від навколишнього світла, що призводить до низької продуктивності у зовнішньому середовищі. Крім того, зі збільшенням відстані виявлення точність структурованого світла знижується. Для вирішення цих проблем у сучасних дослідженнях застосовуються такі стратегії, як збільшення потужності і зміна методів кодування [27-29].

Час прольоту (TOF) - метод, який використовує безперервні світлові імпульси і вимірює час або різницю фаз прийнятого світла для обчислення відстані до цілі [30-32]. Однак цей метод вимагає високоточних модулів вимірювання часу для досягнення достатньої точності визначення дальності, що робить його відносно дорогим. Тим не менш, TOF здатний вимірювати великі відстані з мінімальним впливом навколишнього світла. Поточні дослідницькі зусилля зосереджені на зниженні продуктивності і вартості модулів вимірювання часу при одночасному підвищенні продуктивності алгоритму. Мета полягає в тому, щоб знизити вартість за рахунок вдосконалення процесу виробництва модуля вимірювання часу і підвищити продуктивність вимірювання дальності за рахунок оптимізації алгоритму.

Тріангуляційний метод - метод вимірювання відстані, заснований на принципах тріангуляції. На відміну від інших методів, які вимагають точних датчиків, він має нижчу загальну вартість [33-35]. На коротких відстанях метод тріангуляції може забезпечити високу точність, завдяки чому він широко використовується в споживчих і комерційних продуктах, таких як роботизовані пилососи. Однак похибка вимірювання методом тріангуляції пов'язана з відстанню вимірювання. Зі збільшенням відстані вимірювання похибка вимірювання також поступово зростає. Це притаманно принципам тріангуляції, і повністю уникнути цього неможливо.

Метод лазерного сканування - активний візуальний метод тривимірної реконструкції, який використовує взаємодію між лазерним променем, що випромінюється лазерним пристроєм, і поверхнею об'єкта для отримання

тривимірної інформації про об'єкт. Цей метод використовує методи лазерної проекції та лазерної дальності для фіксації положення лазерних точок або ліній і обчислення їхніх тривимірних координат, що дає змогу виконати точну 3D-реконструкцію. Лазерне сканування має такі переваги, як висока точність, адаптивність до різних умов освітлення та збір даних у реальному часі, що робить його придатним для реконструкції складних форм і деталей [32]. Однак цей метод має довший час сканування для великих об'єктів, вищу вартість обладнання та проблеми з прозорими, відбиваючими або багаторазово розсіяними поверхнями. З подальшим технологічним розвитком лазерне сканування має великий потенціал застосування в інженерії, архітектурі, збереженні культурної спадщини та інших галузях. Однак, все ще необхідно усунути обмеження, включаючи час, вартість і пристосованість до спеціальних поверхонь [16-18].

Пасивні методи. Монокулярний зір - метод візуального відновлення глибини, який використовує одну камеру як пристрій зйомки. Перевагою цього методу є його низька вартість і простота розгортання. Монокулярний зір реконструює 3D-середовище, використовуючи розбіжності в послідовності безперервних зображень. Методи відновлення глибини монокулярного зору включають фотометричне стерео [19], відновлення текстури [20], відновлення затінення [11], відновлення розфокусування [12] і відновлення концентричної мозаїки [23]. Ці методи використовують варіації освітлення, текстурні патерни, градієнти яскравості, інформацію про фокус і концентричну мозаїку для отримання інформації про глибину об'єктів. Для підвищення точності та стабільності оцінки глибини деякі алгоритми [34,35] використовують регуляризацію глибини та згорткові нейронні мережі для монокулярної оцінки глибини. Однак використання монокулярного зору для оцінки глибини та 3D-реконструкції має певні проблеми. Одне зображення може відповідати декільком реальним фізичним сценам, що ускладнює оцінку глибини і досягнення 3D-реконструкції виключно на основі методів монокулярного зору.

Бінокулярний/мультівізіійний зір - просунута методика, заснована на принципах стереогеометрії. Він використовує зображення, захоплені лівою і правою камерами, після корекції, для пошуку відповідних пікселів і відновлення 3D-структурної інформації про навколишнє середовище [16]. Однак цей метод стикається з проблемою узгодження зображень з лівої та правої камер, оскільки неточне узгодження може суттєво вплинути на кінцеві результати роботи алгоритму. Для покращення точності зіставлення, багаторакурсний зір вводить конфігурацію з трьох або більше камер для подальшого підвищення точності зіставлення [27]. Цей метод має помітні недоліки, включаючи довший час обчислень і гіршу продуктивність у реальному часі [18].

На основі RGB-D камер - в останні роки багато дослідників зосередилися на використанні RGB-D камер споживчого класу для 3D-реконструкції. Наприклад, продукти Kinect V1 і V2 від Microsoft зробили значний внесок у цій галузі. Алгоритм Kinect Fusion, став важливою віхою у досягненні 3D-реконструкції в реальному часі за допомогою RGB-камер. Згодом з'явилися такі алгоритми, як Dynamic Fusion [30], ReFusion [31] та Bundle Fusion [32], які ще більше розвинули цю галузь [33]. Ці алгоритми надали нові напрямки та методи використання RGB-D камер.

Алгоритми 3D-реконструкції на основі глибокого навчання. У контексті глибокого навчання методи 3D-реконструкції на основі зображень використовують великомасштабні дані для встановлення попередніх знань і перетворюють проблему 3D-реконструкції на проблему кодування і декодування. Зі збільшенням доступності наборів 3D-даних і підвищенням обчислювальних потужностей методи глибокого навчання дозволяють реконструювати 3D-моделі об'єктів з одного або декількох 2D-зображень без необхідності складного калібрування камери. Цей підхід використовує потужні можливості представлення даних і підхід глибокого навчання на основі даних, привносячи значний прогрес і нові можливості у сферу 3D-реконструкції зображень.

У 3D-реконструкції існують, в основному, чотири типи форматів даних: Карта глибини - це двовимірне зображення, яке фіксує відстань від точки зору до об'єкта для кожного пікселя. Дані представлені у вигляді зображення у відтінках сірого, де темніші ділянки відповідають ближчим областям. Вокселі подібні до концепції пікселів у 2D і використовуються для представлення об'ємних елементів у 3D просторі. Кожен воксель може містити інформацію про тривимірні координати, а також інші властивості, такі як колір та інтенсивність відбиття. Хмари точок складаються з дискретних точок, де кожна точка містить 3D координати та додаткову інформацію, таку як колір та інтенсивність відбиття. Сітки - це двовимірні структури, що складаються з полігонів і використовуються для представлення поверхні 3D-об'єктів. Перевагою сіткових моделей є зручність обчислень, вони можуть піддаватися різним геометричним операціям і перетворенням.

Вибір відповідного формату даних залежить від конкретних вимог та вимог алгоритму, забезпечуючи різноманітні варіанти та сфери застосування в 3D-реконструкції..

3D-реконструкція на основі вокселів. Вокселі є розширенням пікселів у тривимірному просторі, і, подібно до 2D-пікселів, воксельні представлення у 3D-просторі також мають регулярну структуру. Було продемонстровано, що різні архітектури нейронних мереж, які зазвичай використовуються в галузі аналізу 2D зображень, можуть бути легко розширені для роботи з воксельними представленнями. Таким чином, при вирішенні проблем, пов'язаних з реконструкцією тривимірних сцен і семантичним розумінням, ми можемо використовувати піксельні представлення для досліджень. У зв'язку з цим ми класифікуємо воксельні представлення на щільні воксельні представлення, розріджені воксельні представлення та воксельні представлення, отримані шляхом перетворення хмар точок.

3D-реконструкція на основі хмари точок. Традиційні фреймворки глибокого навчання побудовані на основі 2D-згорток, які ефективно працюють з регуляризованими структурами даних за підтримки сучасного

паралельного обчислювального обладнання. Однак для зображень, яким бракує інформації про глибину, особливо при екстремальному освітленні або специфічних оптичних умовах, часто виникає семантична неоднозначність. Як розширення 3D-даних, з'явилася 3D-згортка, яка дозволяє природним чином обробляти регуляризовані воксельні дані. Однак, порівняно з 2D-зображеннями, обчислювальні ресурси, необхідні для обробки воксельних зображень, зростають в геометричній прогресії. Крім того, 3D-структури демонструють розрідженість, що призводить до значних втрат ресурсів при використанні воксельних зображень. Тому воксельні представлення більше не підходять для великомасштабних задач аналізу сцен. Навпаки, хмари точок, як нерегулярне представлення, можуть просто і ефективно захоплювати розріджені структури 3D-даних, відіграючи вирішальну роль у завданнях розуміння 3D-сцени. Отже, виділення особливостей хмари точок стало життєво важливим кроком у процесі аналізу 3D-сцен і досягло безпрецедентного розвитку.

3D-реконструкція на основі сітки. Методи тривимірної реконструкції на основі сітки - це методи, що використовуються для реконструкції тривимірних форм. Цей підхід використовує сіткову структуру для опису геометричної форми і топологічних взаємозв'язків об'єктів, що дозволяє точно моделювати об'єкти. При 3D-реконструкції на основі сітки першим кроком є отримання даних хмари точок поверхні об'єкта. Потім, за допомогою ряду операцій, дані хмари точок перетворюються в сіткове представлення. Ці операції включають побудову топології сітки, коригування положення вершин та згладжування меж. Нарешті, шляхом оптимізації та уточнення сітки можна отримати точну і згладжену 3D модель об'єкта.

Методи 3D-реконструкції на основі сітки мають кілька переваг. Структура сітки зберігає деталі форми об'єктів, що забезпечує вищу точність результатів реконструкції. Відносини суміжності в сітці надають багату інформацію для подальшого геометричного аналізу та обробки. Крім того, сіткові методи можна поєднувати з методами глибокого навчання, такими як

графові згорткові нейронні мережі, що дає змогу просунутого аналізу та розуміння 3D-форм.

1.3 Датчики роботизованого зварювання в промисловому застосуванні

Останніми роками спостерігається стрімкий розвиток роботизованих зварювальних датчиків, і їх застосування в різних галузях промисловості стає все більш поширеним [12-15]. Ці датчики призначені для виявлення та вимірювання різних параметрів, таких як температура, тиск, швидкість і положення, які мають вирішальне значення для забезпечення стабільного та якісного зварювання. Поєднання різних датчиків дозволяє роботизованим зварювальним апаратам краще сприймати об'єкт зварювання і керувати роботом, щоб досягти місць, до яких людині важко або небезпечно дістатися. В результаті роботизовані зварювальні апарати широко застосовуються в різних галузях промисловості, включаючи суднобудування, автомобілебудування, машинобудування, аерокосмічну, залізничну, завдяки своїй здатності підвищувати ефективність, точність і безпеку зварювального процесу.

У автомобілебудуванні роботизовані датчики зварювального зору відіграють вирішальну роль у забезпеченні якості та точності зварювальних процесів. Ці датчики призначені для виявлення різних параметрів, таких як товщина і форма сталевих листів, положення і орієнтація деталей автомобіля, а також консистенція зварних швів. Використовуючи роботизовані датчики зварювального зору, виробники можуть підвищити ефективність і точність своїх зварювальних процесів, зменшити потребу в ручній праці і забезпечити відповідність своєї продукції необхідним стандартам безпеки і якості.

В інших сферах роботизовані датчики зварювального зору можуть легко вирішувати складні, важкодоступні та небезпечні сценарії зварювання за допомогою візуального сприйняття [28-31]. Завдяки точному виявленню, розпізнаванню та моделюванню об'єкта, що зварюється, датчики можуть всебічно зрозуміти структуру, просторові взаємозв'язки та позиціонування

об'єкта, що полегшує точне керування зварювальним пальником та забезпечує оптимальні результати зварювання. Універсальність датчиків технічного зору для роботизованого зварювання дозволяє їм адаптуватися до різних умов навколишнього середовища, таких як зміна умов освітлення, температури та відстані. Вони також можуть бути інтегровані з іншими датчиками та системами для підвищення їхньої продуктивності та функціональності.

Використання датчиків технічного зору в роботизованому зварювальному обладнанні має кілька переваг над традиційними ручними методами контролю. По-перше, вони можуть виявляти дефекти і невідповідності в режимі реального часу, що дозволяє негайно вжити заходів для їх усунення, знижуючи ймовірність появи дефектів і покращуючи загальну якість зварних швів. По-друге, вони можуть перевіряти ділянки, до яких важко або неможливо отримати доступ людині-інспектору, наприклад, внутрішню частину труб або нижню частину кузова автомобіля, гарантуючи, що всі зварні шви відповідають необхідним стандартам, незалежно від їхнього розташування. Крім того, роботизовані датчики машинного зору можуть перевіряти зварні шви швидше, ніж ручні методи перевірки, що дозволяє підвищити продуктивність і ефективність [15]. Вони також зменшують потребу в ручній праці, яка може бути трудомісткою і дорогою. Крім того, використання роботизованих зварювальних датчиків зору може допомогти підвищити безпеку працівників, зменшуючи необхідність роботи в небезпечних умовах [18].

Ряд досліджень показують, що зважена функція помилки положення в просторі зображення переходила від 0 до 1, а після активного контролю помилка маніпуляції зменшувалася до менш ніж 2 пікселів [34]. Для компенсації неточностей, спричинених процесом зварювання, в роботизованій системі використовують адаптацію траєкторії руху інструменту та адаптивні стратегії. Експерименти продемонстрували, що роботизовані системи можуть працювати в певному діапазоні зовнішніх кутів, на додаток до декількох кутів наближення до 50 градусів. Ця адаптивна технологія дозволила вдосконалити

існуючі конструкції і технології ремонту за допомогою інкрементного точкового зварювання.

Таким чином, датчики машинного зору для роботизованого зварювання відіграють вирішальну роль, допомагаючи роботизованим зварювальним системам точно виявляти і розпізнавати об'єкти, що зварюються, а потім керувати процесом зварювання для забезпечення оптимальних результатів. Ці датчики використовують передові візуальні технології, такі як камери, лазери та комп'ютерні алгоритми для виявлення та аналізу форми, розміру, матеріалу та інших важливих характеристик об'єкта. Вони можуть бути інтегровані в роботизовану зварювальну систему різними способами, наприклад, встановлені на руці робота або інтегровані в сам зварювальний палик. Датчики надають роботизованій системі інформацію в режимі реального часу, що дозволяє їй регулювати параметри зварювання, такі як швидкість, тиск і теплове навантаження, для оптимізації якості та консистенції зварного шва [27]. Індивідуальні підходи мають вирішальне значення при застосуванні зварювальних роботів у різних галузях промисловості. Автомобільна, аерокосмічна та суднобудівна галузі стикаються з унікальними зварювальними завданнями, які потребують індивідуальних рішень. Щоб забезпечити задоволення специфічних потреб галузі, слід враховувати індивідуальні конструкції роботів, спеціалізовані параметри та контроль якості.

1.4. Існуючі проблеми, запропоновані рішення та напрямки подальших досліджень

Візуальне сприйняття у зварювальних роботах стикається з безліччю проблем, включаючи мінливість зовнішнього вигляду об'єктів, складні зварювальні процеси, обмежену видимість, перешкоди для датчиків, обмеження обробки, прогалини в знаннях і міркування безпеки. Подолання цих перешкод вимагає впровадження передових технологій зондування і сприйняття, складних програмних алгоритмів і ретельної системної інтеграції.

У сфері промислової робототехніки зварювальні роботи стикаються з різними проблемами візуального сприйняття. Це охоплює поточні проблеми, потенційні рішення та майбутні перспективи в галузі зварювальної робототехніки.

Досліджуючи можливості глибокого навчання і згорткових нейронних мереж (CNN) в області систем технічного зору роботів-зварювальників, дуже важливо визнати потенціал альтернативних методологій і оцінити їх придатність в конкретних контекстах. Крім глибокого навчання, традиційні алгоритми машинного навчання можуть бути ефективно застосовані в системах машинного зору роботів-зварювальників. Наприклад, машини опорних векторів (SVM) і випадкові ліси стають життєздатним вибором для класифікації та виявлення дефектів у зварювальних процесах. Ці алгоритми зазвичай демонструють меншу обчислювальну складність і мають здатність демонструвати похвальну продуктивність на конкретних наборах даних.

Системи на основі рекомендацій можуть слугувати економічно ефективною та зрозумілою альтернативою для певних зварювальних завдань. Використовуючи заздалегідь визначені правила і логічні міркування, ці системи обробляють дані зображень для прийняття обґрунтованих рішень. Традиційні методи машинного зору, включаючи визначення порогових значень, виявлення країв і аналіз форми, виявляються корисними для точного визначення положення і форми зварного шва. Крім CNN, безліч класичних методів машинного зору можуть знайти застосування в системах технічного зору роботів-зварювальників. Наприклад, зіставлення з шаблоном може забезпечити точну ідентифікацію і локалізацію зварних швів, в той час як методи оптичного потоку полегшують виявлення руху під час процесу зварювання. Ці методи часто вимагають менше анотованих даних і можуть продемонструвати надійність у конкретних сценаріях. Гібридні моделі, які об'єднують сильні сторони різних методологій, можуть забезпечити комплексні рішення. Інтеграція традиційних методів комп'ютерного зору з глибинним навчанням дозволяє використовувати особливості, отримані в

результаті глибинного навчання, для завдань класифікації або виявлення. Такі гібридні моделі виявляються особливо цінними в умовах обмеженої доступності даних або високих вимог до інтерпретації.

Основні проблеми, з якими стикаються роботизовані зварювальні системи технічного зору, включають в себе наступні.

1. Адаптація до мінливих умов навколишнього середовища: роботизовані системи технічного зору для зварювання часто намагаються швидко пристосуватися до змін освітлення, кутів нахилу камери та інших факторів навколишнього середовища, які впливають на процес зварювання.
2. Обмежені можливості виявлення і розпізнавання: звичайні методи комп'ютерного зору, що використовуються в цих системах, мають обмежені можливості виявлення і розпізнавання об'єктів, що призводить до помилок під час зварювання.
3. Вразливість до шуму і перешкод: роботизовані системи технічного зору для зварювання схильні до проблем з чутливістю до шуму і перешкод, що виникають від таких джерел, як процес зварювання, рух робота і зовнішні фактори, такі як пил і дим.
4. Проблеми з оцінкою глибини і 3D-реконструкцією: варіації властивостей матеріалів і методів зварювання призводять до розбіжностей в процесі зварювання, що ускладнює точну оцінку глибини і досягнення точної 3D-реконструкції.
5. Існуючі зварювальні установки складно взаємопов'язані, часто обмежені в просторі, а інтеграція мультимодальної системи з'єднання датчиків вимагає модифікацій, щоб відповідати новим вимогам. Ефективна обробка об'ємних даних і вилучення релевантної інформації є складними завданнями, що вимагають попередньої обробки і алгоритмів об'єднання. Інтеграція передбачає комплексну системну інтеграцію і калібрування, що забезпечує безперебійний

діалог між апаратним і програмним забезпеченням для точності і надійності даних.

Для вирішення цих проблем пропонуються наступні рішення.

1. Розвивати глибоке навчання для виявлення і розпізнавання об'єктів: Інтеграція методів глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN), може значно покращити можливості виявлення та розпізнавання роботизованих зварювальних систем технічного зору. Це дозволяє їм точно ідентифікувати об'єкти і адаптуватися до динамічних умов навколишнього середовища.
2. Передача глибокого навчання для адаптації зварювальних роботів: використання попередньо навчених моделей глибокого навчання та їх адаптація до специфіки роботизованого зварювання дозволяє системі технічного зору навчатися і розпізнавати об'єкти та особливості, пов'язані зі зварюванням, підвищуючи її продуктивність і стійкість.
3. Розробка мультимодального об'єднання датчиків: Об'єднання візуальних даних з камер з іншими датчиками, такими як лазерний радар і ультразвукові датчики, створює більш повне розуміння зварювального середовища. Такий синтез підвищує точність і надійність системи технічного зору.
4. Інтеграція моделей і обладнання: Використання різних датчиків для збору інформації про глибину та інтеграція цих даних в модель зварювання підвищує точність оцінки глибини і 3D-реконструкції.
5. Необхідно провести комплексний аналіз вимог і оцінку системи у співпраці з експертами в галузі зварювання, щоб розробити архітектуру об'єднання мультимодальних датчиків. Вибір відповідних алгоритмів для вилучення та об'єднання даних для забезпечення точних і надійних результатів. Проведення калібрування даних і системної інтеграції, включаючи конфігурацію обладнання та розробку програмного інтерфейсу. Калібрування

датчиків і оцінка продуктивності системи для забезпечення стабільних і надійних зварювальних операцій.

Потенційні майбутні досягнення включають наступне.

1. Підвищення надійності моделей глибокого навчання: вдосконалення моделей глибокого навчання для протистояння шуму і перешкодам розширить сферу застосування роботизованих систем машинного зору для зварювання в різних умовах навколишнього середовища.
2. Інтеграція знань про предметну область в моделі глибокого навчання: інтеграція знань про зварювання в моделі глибокого навчання може підвищити їх продуктивність і адаптивність в рамках роботизованих зварювальних систем.
3. Обробка даних і зворотний зв'язок у реальному часі: розробка механізмів обробки даних і зворотного зв'язку в реальному часі дає змогу роботизованим системам технічного зору швидко реагувати на зміни зварювального середовища, підвищуючи якість і стабільність зварювання.
4. Автономні зварювальні системи: інтеграція глибокого навчання з роботизованими системами технічного зору відкриває шлях до створення автономних зварювальних систем, здатних виконувати складні зварювальні завдання без втручання людини.
5. Мультимодальне злиття для роботизованого зварювання: об'єднання візуальних і акустичних сигналів з параметрами зварювального процесу може забезпечити всебічне розуміння процесу зварювання, дозволяючи роботизованій зварювальній системі приймати більш точні рішення і покращувати якість зварного шва.
6. Створення бази знань про зварювання: створення сховища різноманітних методів зварювання і матеріалів дозволяє роботизованим зварювальним системам навчатися і підвищувати свою продуктивність і адаптивність на основі цієї бази знань.

Вищеперераховані проблеми, напрямки їх вирішення та переваги, які отримає галузь від роботизації зварювальних процесів, без сумніву, потребує вивчення та вирішення. Тому метою нашої роботи є більш вузьке завдання – підвищити довговічність деталей з використанням висококонцентрованих джерел енергії на прикладі технологічного процесу плазмового зварювання рами з використанням промислового робота.

Для досягнення основної мети роботи необхідно було виконати наступні завдання:

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

РОЗДІЛ 2.

ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ

2.1. Устаткування для плазмового зварювання

Плазмова технологія зварювання та наплавлення істотно відрізняється від відомих процесів. На сьогоднішній день такий процес має переваги перед іншими способами зварювання. На відміну від нових (СМТ) та вже традиційних технологій ТІГ зварювання плазмове зварювання демонструє відмінні за якістю результати, є стабільним та надійним процесом. Рама – базова деталь, яку ми розглядаємо виготовляється з різних матеріалів – нержавіючої сталі, матеріалів з покриттям. В ряді випадків на виробництві є необхідність зварювання сплавів на основі нікелю. Тому використання висококонцентрованого джерела – плазми є доцільним та виправданим.

Система плазмового зварювання складається з чотирьох основних компонентів: цифрового джерела струму ТІГ, охолоджувального модуля, модуля PlasmaModule 10 і пальника для плазмового зварювання (рисунок 2.1).

В якості джерел струму ефективним є використання цифрових - MagicWave або TransTig ТІГ. TransTig ТІГ (0,5 до 500 А) дозволяє використовувати як плазмове зварювання, так і традиційний ТІГ-процес.

Модуль PlasmaModule 10 дозволяє керувати пілотною дугою в широкому діапазоні 3-30А.

Плазмовий зварювальний пальник може бути використаний як при роботизованому, так і при звичайному плазмовому зварюванні. Центральна точка інструмента (ТСР) для плазмового зварювання та роботизованого зварювання ТІГ співпадають, що дозволяє ефективно й гнучко керувати процесами на виробництві.



Рисунок 2.1 – Плазмове зварювання роботизованим комплексом фірми FRONIUS.

Для плазмового наплавлення необхідним є використання модуля охолодження Kühlgerät FK 4000. Такий модуль дозволяє забезпечувати надійне водяне охолодження зварювального пальника

На сьогоднішній день на більшості виробництв представлені різні бренди роботів. Тому увагу слід приділити саме процесу використання обладнання FRONIUS для зварювання для використання з роботами найбільш розповсюдженої моделі KUKA.

В деякій мірі конкурентним процесом є СМТ. Спираючись на новітні розробки в галузі цифрових систем управління, фірма Fronius розробила технологію наплавлення і з'єднання матеріалів методом холодного перенесення металу (Cold Metal Transfer - СМТ). Застосування цієї технології забезпечує зварювання в режимі, близькому до режиму перенесення металу короткими замиканнями, проте з набагато нижчим тепловкладенням. Ця особливість процесу СМТ забезпечує істотне зниження термічних деформацій зварюваних конструкцій, розбризування електродного металу, рівномірне формування зварного шва з мінімальною кількістю дефектів.

"Холодне" перенесення металу в зварювальну ванну під час СМТ-процесу досягається за рахунок зниження зварювального струму до нуля в момент короткого замикання краплі металу, синхронізованого з імпульсними коливаннями дроту. При цьому перенесення металу і відрив краплі здійснюється за рахунок маси самої краплі металу і її механічного "струшування" у зварювальну ванну без додаткового енергетичного впливу: у разі виникнення короткого замикання у зварювальній ванні, система управління реагує на падіння напруги і знижує значення зварювального струму до мінімуму. У цей же момент дріт відводиться зі зварювальної ванни, завдяки чому здійснюється плавний відрив краплі з мінімальним тепловкладенням.

За такої схеми реалізації процесу перенесення металу досягається ще ціла низка переваг, як-от: плавний старт; стабільне горіння дуги за низьких значень зварювального струму; висока стійкість зварювальної ванни під час зварювання у вертикальному та стельовому положеннях; рівномірне і правильне формування зварного шва; отримання зворотного формування шва без використання підкладок.

Для реалізації режиму холодного перенесення металу в конструкцію СМТ установки включені спеціальні компоненти. З одного боку, розташовані два блоки подачі дроту, які управляються в цифровому режимі. Передній блок Robacta Drive СМТ забезпечує пульсацію дроту з частотою до 70 разів на сек (можна встановити блок SynchroPuls з частотою пульсації 5 разів на сек). Задній блок VR 7000 СМТ служить для подачі дроту.

Звичайно ж, у царині зварювальних процесів поняття "холодний" є відносним, але порівняно з традиційним MIG/MAG зварюванням СМТ є холодним процесом, який вирізняється стабільним горінням дуги. СМТ-технологія дає змогу здійснювати ті операції, які досі були пов'язані з великими труднощами: одержання зварних і паяних швів без утворення бризок; з'єднання сталі з алюмінієм; одержання стикових з'єднань надтонкого листа завтовшки 0,3 без істотних деформацій тощо.

Розміри зазорів під час зварювання дають змогу здійснювати процес в автоматизованому режимі.

Ефективність застосування СМТ-процесу під час наплавлення пов'язана з тим, що завдяки низькій температурі зварювальної ванни перемішування основного та електродного металу значно менше, ніж під час наплавлення із застосуванням класичного MIG/MAG обладнання. При цьому зміни металургійної структури, хімічного складу, а, отже, й експлуатаційних властивостей наплавленого шару мінімальні. Це дає змогу здійснювати наплавлення меншої кількості шарів і в деяких випадках відмовитися від використання буферних або проміжних шарів. Таким чином скорочення тривалості операції наплавлення і витрати дроту може досягати 50 %.

Гнучкість СМТ установок забезпечується завдяки модульному компонуванню. Устаткування Fronius дає змогу виконувати зварювання не тільки за системою СМТ, а й за стандартною технологією MIG/MAG або зварювання в імпульсному режимі. Крім того, економія досягається за рахунок відсутності втрат подачі захисного газу до зварювального пальника, автоматичного вимкнення блоку охолодження, низького споживання потужності на холостому ході.

Основні сфери застосування СМТ-зварювання - це автомобільна, аерокосмічна промисловість, виготовлення металевих ємностей і порталних металоконструкцій, енергетичного обладнання - котельних агрегатів, теплообмінників - виробництво комплектуючих і т. д.

Зварювання проводили з використанням зварювального дроту ПП-Нп-25Х5ФМС діаметром 1,8 мм. Режими зварювання: напруга $U = 26\text{В}$, сила струму $I = 220\text{А}$, при цьому глибина проплавлення складала 1,6 мм, а перемішування основного металу в не перевищило 37%. При традиційній технології зварювання глибина проплавлення складає 3,8-5,5 мм, а перемішування основного металу 50-53%.

Для моделювання процесів використовували ліцензійну програму для оффлайн моделювання та програмування RoboDK.

В якості об'єкта для зварювання було обрано раму велосипеда, яка має 10 зон зварювання.

Для обертання рами використовували додактове обладнання – механізм KUKA KP1 H250 EH980, який має 1-осьову зовнішню вісь. Він може витримувати навантаження до 250 кг (рис.2.2), працювати з прискоренням 50 град/сек при максимальній швидкості обертання 840 об/хв. . Механізм KUKA KP1 H250 EH980 виготовляється компанією KUKA.

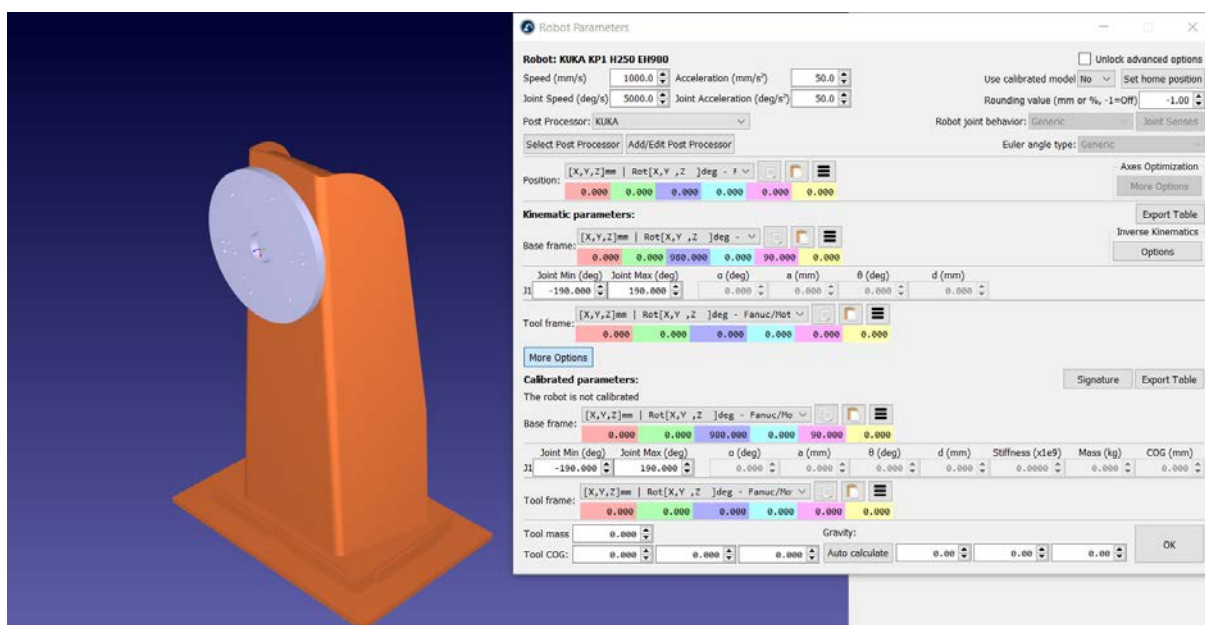


Рисунок 2.2 Одноосьовий механізм KUKA KP1 H250 EH980

Для складання використовували робота з меншою вантажопідйомністю - робот KUKA KR 8 R1420 arc HW - це 6-осьовий робот-маніпулятор, він має вантажопідйомність 8 кг і радіус дії 1421 мм (рис.2.3). Повторюваність робота KUKA KR 8 R1420 arc HW становить 0,04 мм, а вага робота - приблизно 179 кг. До поширених сфер застосування робота KUKA KR 8 R1420 arc HW відносяться адитивне виробництво, дозування, дистанційне ТСП, зварювання.



Рисунок 2.3 KUKA KR 8 R1420 arc HW - це 6-осьовий робот-маніпулятор, що використовували для складання рами

Для моделювання зварювання використовували робота KUKA KR 16 R1610 - це 6-осьовий маніпулятор, він має вантажопідйомність 16 кг і радіус дії 1612 мм. Повторюваність робота KUKA KR 16 R1610 становить 0,04 мм, а вага робота - приблизно 245 кг. Основні сфери застосування KUKA KR 16 R1610 включають Адитивне виробництво, дозування, дистанційна TCP, зварювання.



Рисунок 2.4 Робот KUKA KR 16 R1610 - 6-осьовий маніпулятор, що використовували для зварювання рами

РОЗДІЛ 3

ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ КУКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ РАМИ

3.1 Процес збирання

Для процесів збирання та зварювання використовували роботи КУКА KR 16 R1610 та КУКА KR 8 R1420 arc HW (рис.3.1)

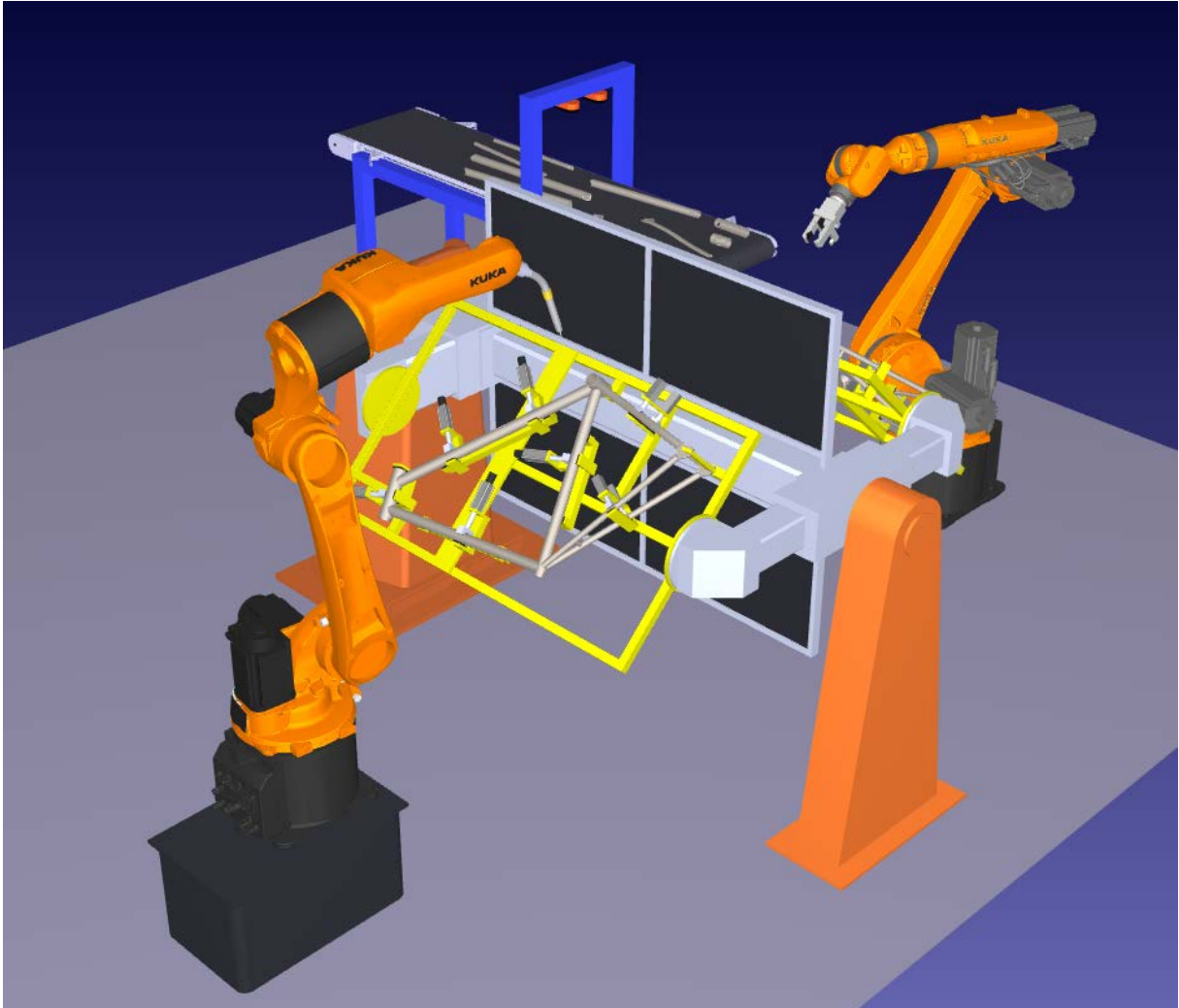


Рисунок 3.1 Загальний вигляд зони збирання та зварювання

Подача матеріалів відбувалась з конвеєра (рис.3.2). Такт роботи конвеєра синхронізований з операційним часом роботи двох роботів, а в рух приводиться при спрацюванні датчиків. На конвеєрі окремі складові розташовані відповідно до послідовності складання. Для вибору деталей

контролер робота KUKA KR 8 R1420 arc HW поєднаний з камерою машинного зору і дозволяє працювати по встановленому алгоритму.

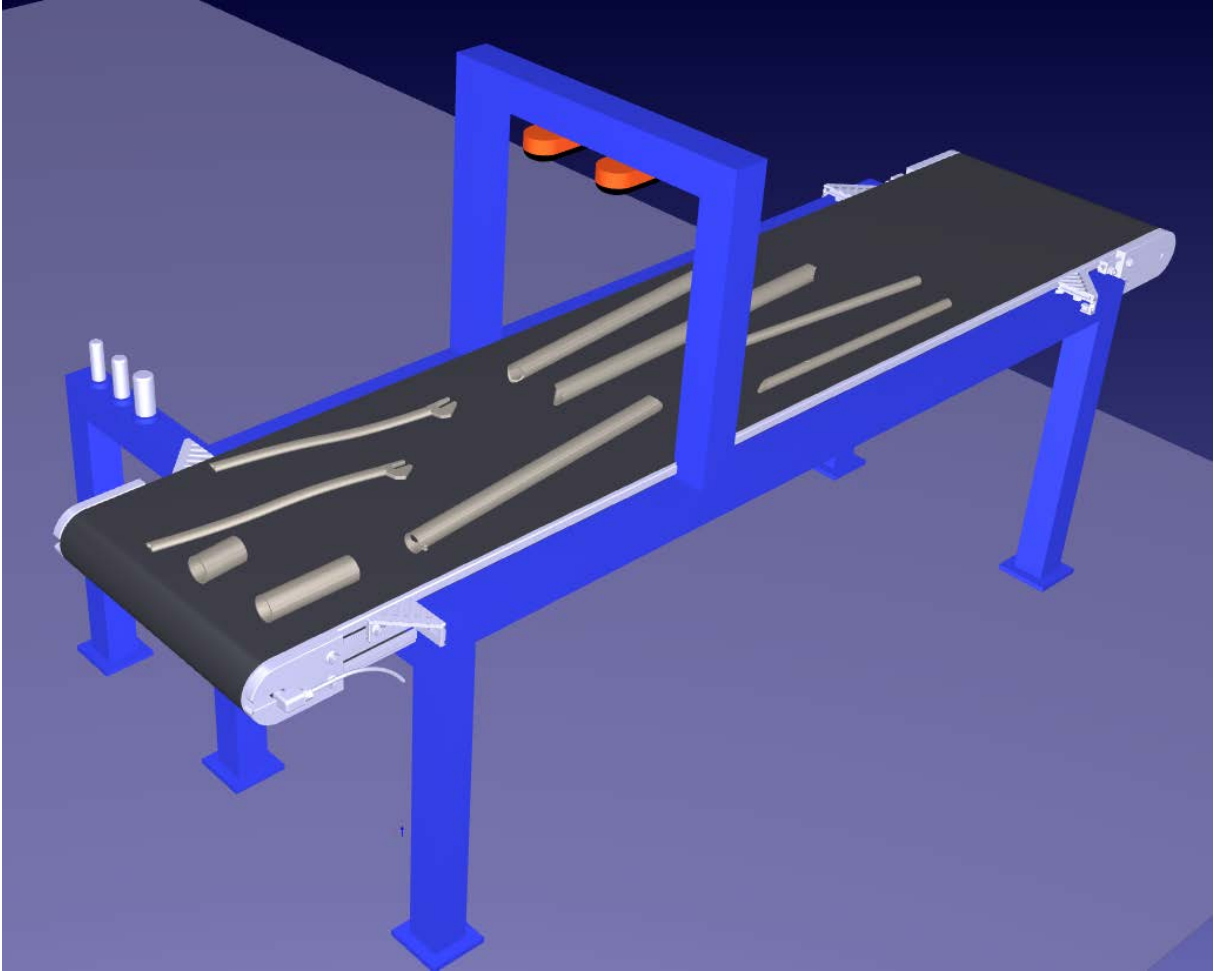


Рисунок 3.2 Конвеєр з розташованими деталями для складання

На конвеєрі розташовані датчики для контролю наявності деталей.

Загальна зона розміщення обладнання враховує зони доступності роботів (рис.3.3-3.4).

Після того як робот KUKA KR 8 R1420 arc HW за допомогою маніпулятора встановлює деталі на складальний стенд, зварювальний робот починає проводити зварювання. Після завершення першої операції механізм обертається на 180 градусів і робот може проводити зварювання по визначеним зонам.

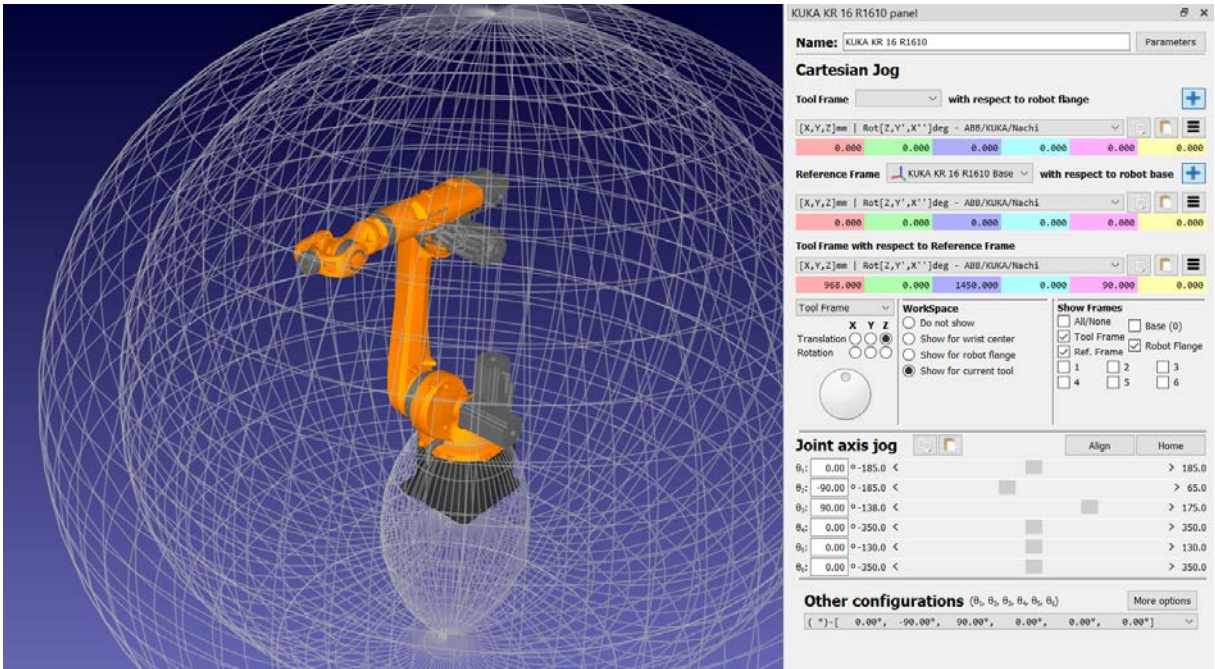


Рисунок 3.3 Загальний вигляд зони доступності робота KUKA KR 16 R1610 для зварювання

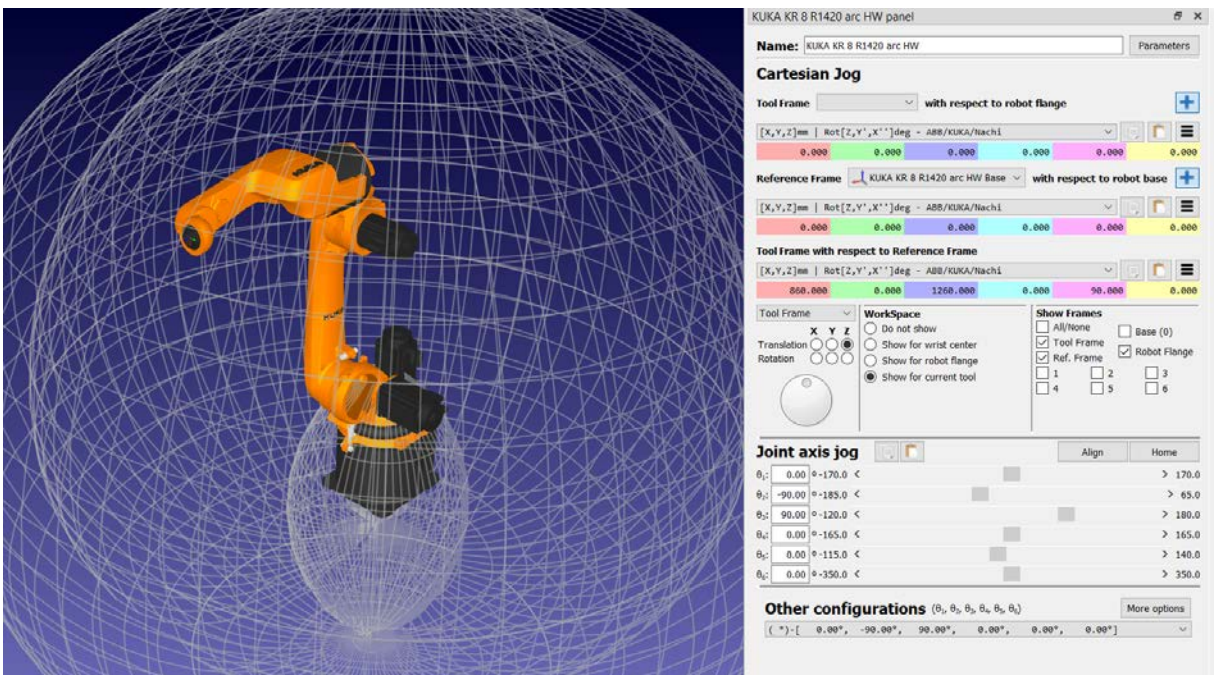
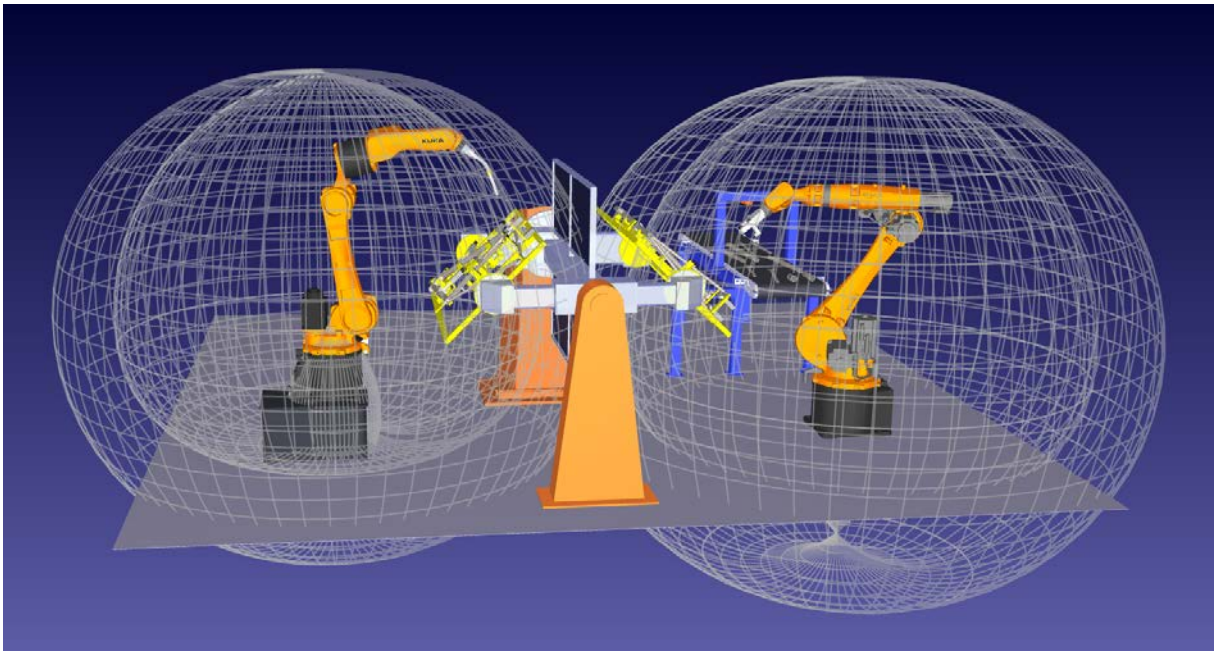
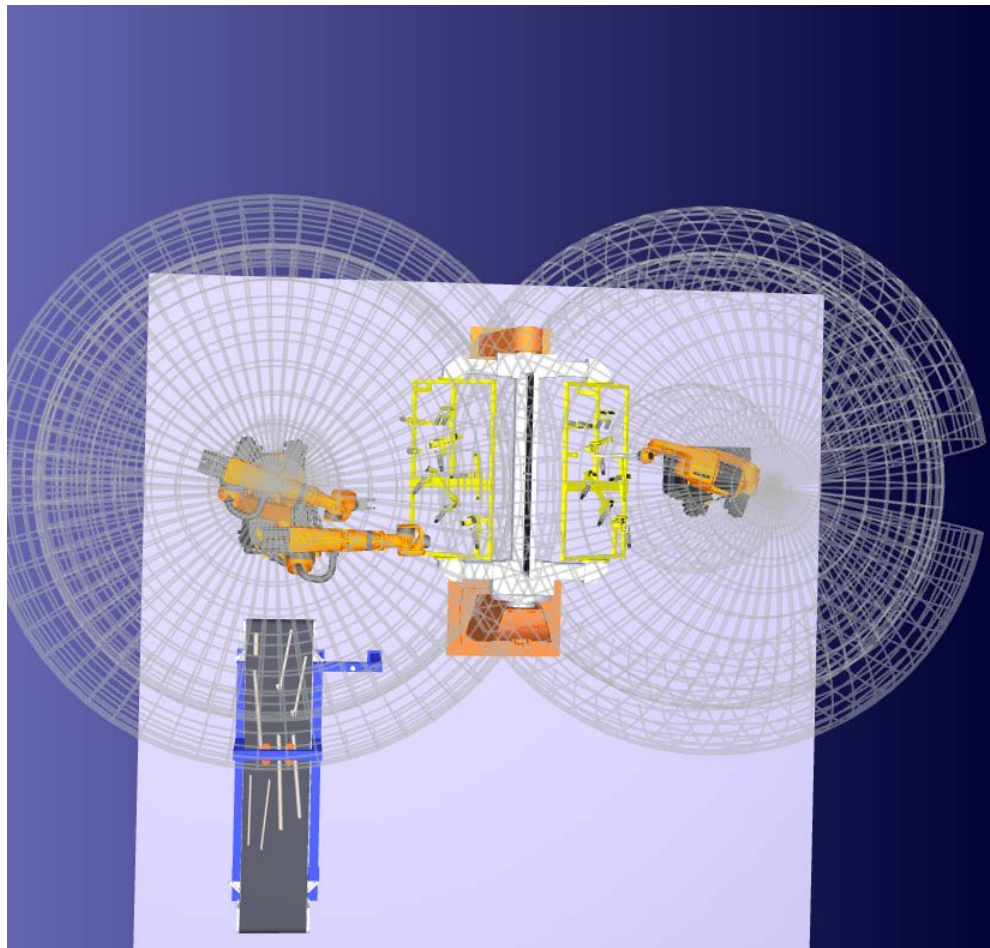


Рисунок 3.4 Загальний вигляд зони доступності робота KUKA KR 8 R1420 arc HW для складання



а)



б)

Рисунок 3.5 Загальний вигляд зон доступності роботів KUKA KR 16 R1610 та KUKA KR 8 R1420 arc HW для складання та зварювання рами: а – вид збоку, б – вид зверху

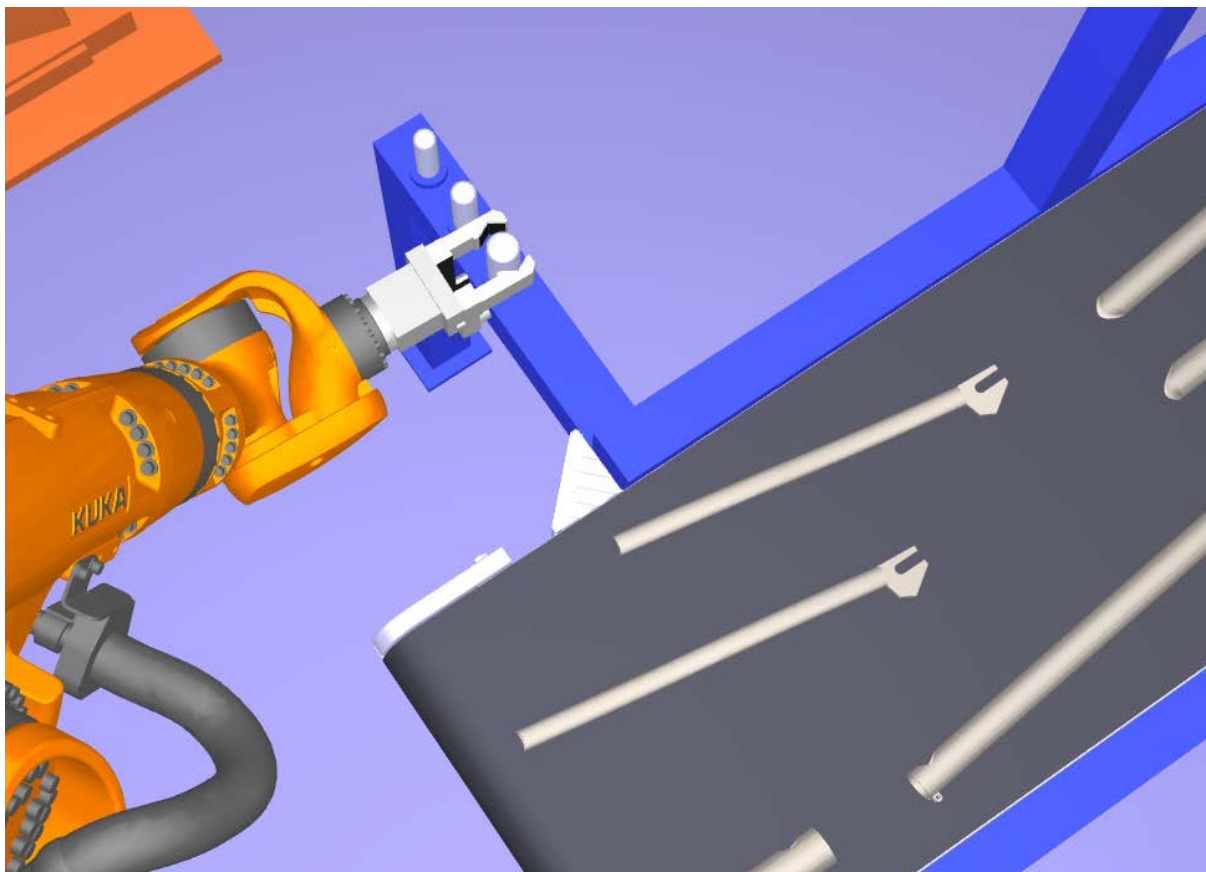


Рисунок 3.6 Використання захвату роботом KUKA KR 16 R1610 для складання та зварювання рами

3.2 Процес зварювання

Складність використання роботів для зварювання включає кілька вимірів, зокрема технічні, операційні, фінансові та людські фактори. Нижче наведені ключові аспекти цієї складності.

Роботи потрібно програмувати для виконання конкретних зварювальних завдань з високою точністю. Це включає кодування для точних рухів, параметрів зварювання та інтеграції з іншими машинами та сенсорами. Потрібні високі навички програмування, особливо для складних зварювальних траєкторій і багатовісних рухів. Інтеграція зварювальних роботів у наявні виробничі лінії вимагає сумісності з іншими системами, такими як системи обробки матеріалів, позиціонування деталей і контролю

якості. Це може бути складно, особливо якщо існуючі системи не призначені для легкої інтеграції.

Роботи повинні бути налаштовані з правильними параметрами зварювання (наприклад, струм, напруга, швидкість подачі) для різних матеріалів і товщин. Це вимагає глибокого розуміння зварювальних процесів. Різні техніки зварювання (наприклад, MIG, TIG, точкове зварювання) вимагають спеціальних налаштувань та регулювань. Робот і вся система зварювання повинні ефективно виконувати потрібну техніку зварювання.

Зварювальні роботи повинні працювати з високою точністю для забезпечення стабільної якості зварювання. Це вимагає регулярного калібрування та технічного обслуговування для підтримання робота в оптимальному стані. Точне калібрування робота і його сенсорів є критично важливим для досягнення бажаних зварних швів. Це може бути трудомістким і технічно складним процесом.

Роботи повинні бути адаптованими до змін у дизайні продукту та вимог до зварювання. Це часто вимагає перепрограмування та переналаштування, що може бути складним і трудомістким. Різні зварювальні завдання можуть вимагати різного обладнання або зварювальної оснастки, які потрібно замінювати та перекалібровувати для кожного завдання.

Крім того зварювальні роботи потребують регулярного обслуговування для запобігання поломкам і забезпечення стабільної продуктивності. Це включає механічне та електричне обслуговування, а також оновлення програмного забезпечення. Забезпечення надійності роботів у суворих зварювальних умовах (наприклад, високі температури, бризки) вимагає прорахунку на міцність та частих перевірок.

Початкова вартість придбання та встановлення зварювальних роботів може бути значною. Це включає вартість роботів, зварювального обладнання, контролерів та інтеграції з наявними системами.

Обґрунтування інвестицій вимагає оцінки економії витрат від підвищеної продуктивності, зниження витрат на робочу силу та покращення якості в порівнянні з початковими інвестиціями та поточними витратами. Необхідно враховувати також операційні витрати, що включають споживання енергії, витратні матеріали (наприклад, зварювальний дріт, газ), обслуговування та потенційні витрати на простої.

Навчання персоналу для експлуатації, програмування та обслуговування зварювальних роботів включає додаткові витрати та час. Експлуатація та обслуговування зварювальних роботів вимагають спеціальних технічних навичок, які можуть бути відсутніми у наявного персоналу. Це вимагає навчання та потенційного найму спеціалізованого персоналу.

Складність використання роботів для зварювання включає технічні виклики у програмуванні, інтеграції, точності та калібруванні; операційні питання, пов'язані з гнучкістю, обслуговуванням та надійністю; фінансові аспекти, включаючи високі початкові інвестиції та поточні витрати; та людські фактори, такі як адаптація робочої сили та безпека. Успішне впровадження роботизованих зварювальних систем вимагає ретельного планування, значних інвестицій та фокусу на постійному вдосконаленні та адаптації для подолання цих складнощів та досягнення бажаних переваг.

Для поточної технологічної задачі для зварювання використали робота KUKA KR 16 R1610, в якості інструмента використовувався пальник фірми FRONIUS (рис. 3.7).

Перед зварюванням раму зафіксували спеціальними зажимами (рис.3.8), а робот був переведений у стартову точку зварювання (рис.3.9).

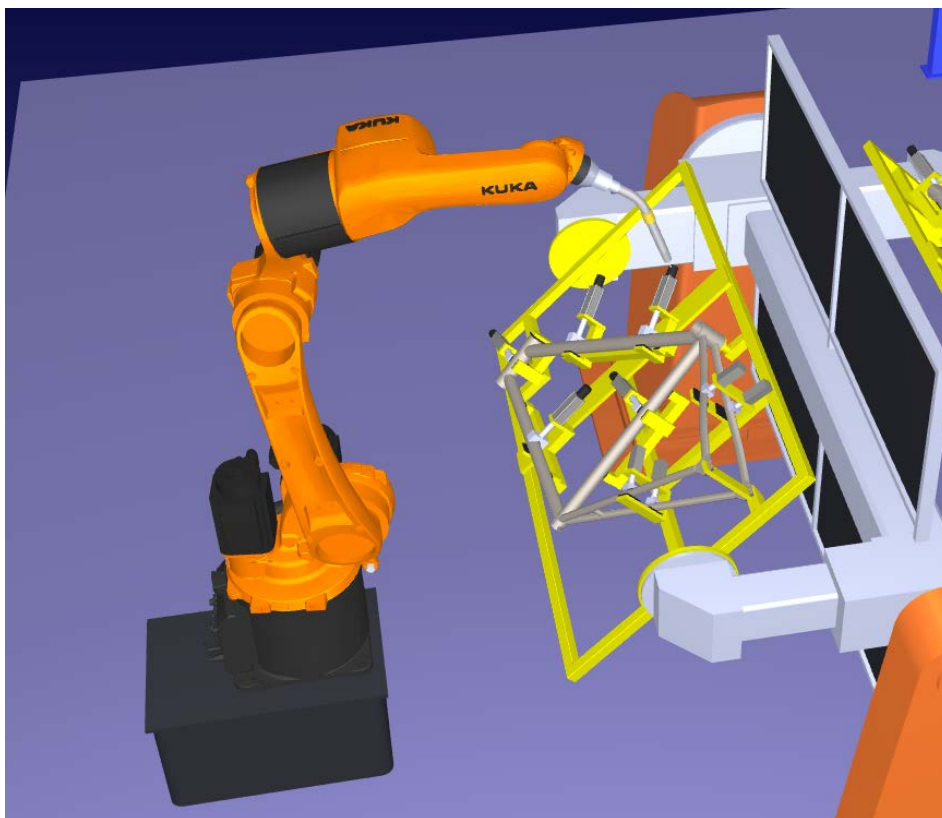


Рисунок 3.7 Загальний вигляд робота KUKA KR 16 R1610 з пальником FRONIUS для зварювання рами

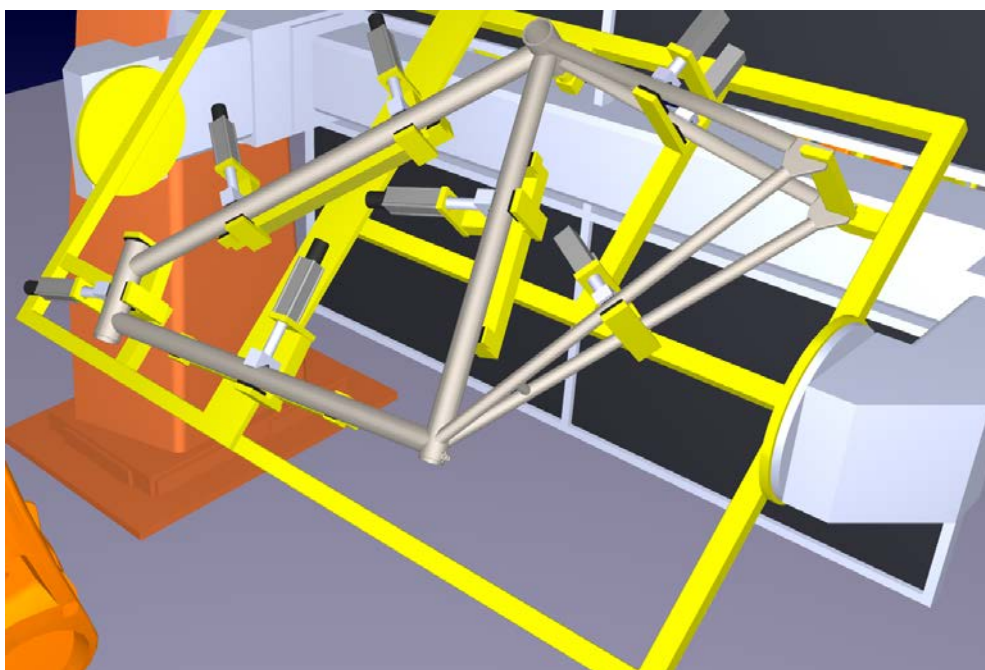


Рисунок 3.8 Загальний вигляд рами, зафіксованої на одноосьовому механізмі обертання KUKA KP1 H250 EN980 для зварювання рами

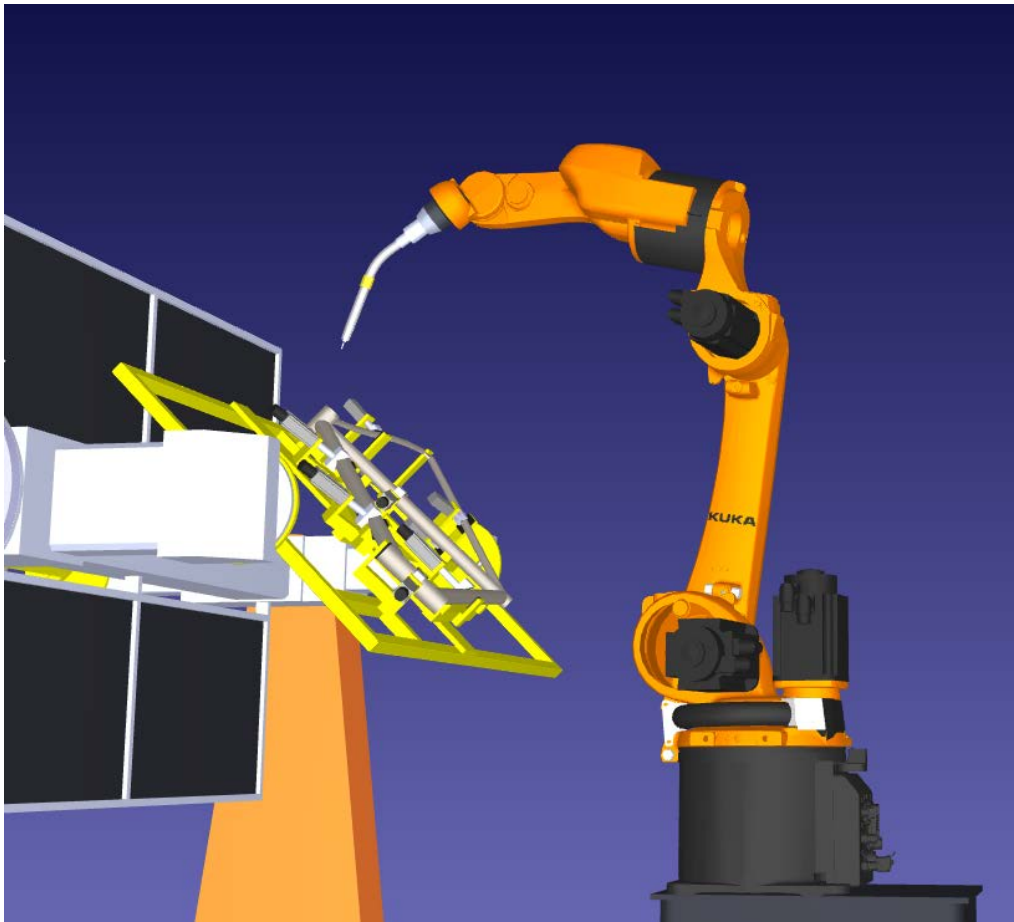


Рисунок 3.9 Стартова точка роботи зварювального робота KUKA KR 16 R1610

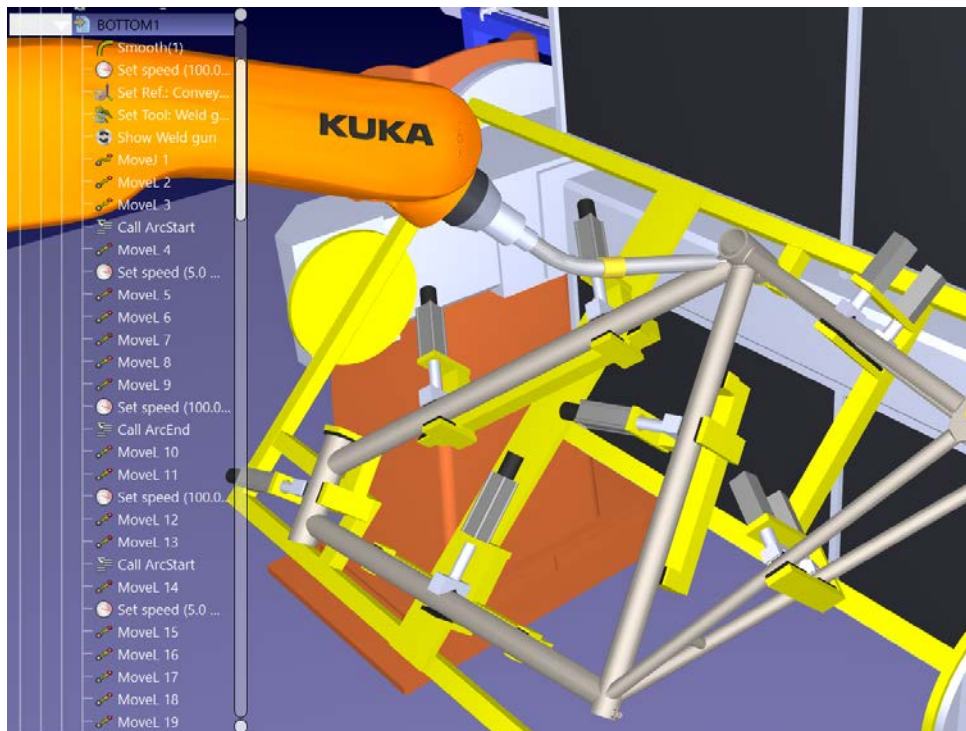


Рисунок 3.10 Представлення переміщень та моделювання зварювання роботом KUKA KR 16 R1610

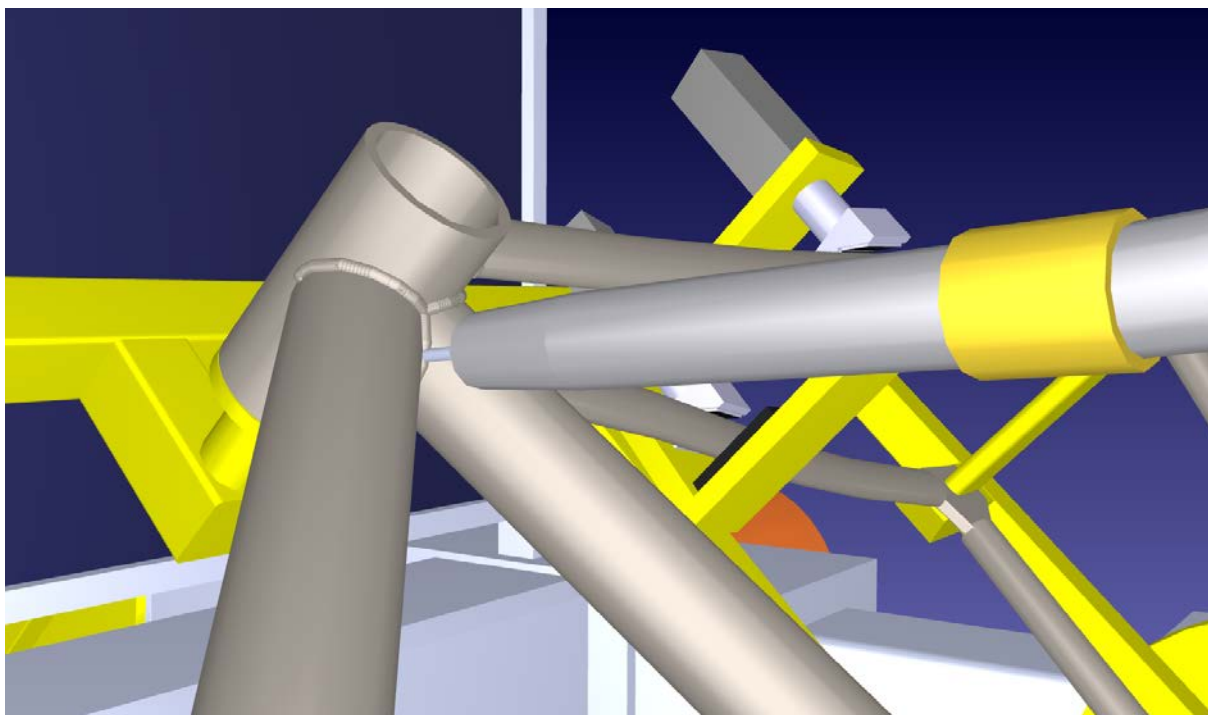


Рисунок 3.11 Моделювання зварювання шва за допомогою написаної програми роботом KUKA KR 16 R1610

Для зварювання рами, яка містить 10 місць обробки, підготовлена програма на мові програмування Python, текст для однієї точки зварювання наведено нижче.

```

Для ділянки зварювання BOTTOM 1 сформували програму для робота KUKA
&ACCESS RVP
&REL 1
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF BOTTOM1 ( )
EXT BAS (BAS_COMMAND :IN,REAL :IN )

; GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
; INTERRUPT ON 3

```

Далі встановлюємо швидкісні режими зварювання

```

;FOLD Initialise and set default speed
BAS (#INITMOV,0)
BAS (#VEL_PTP,200)

```

BAS (#ACC_PTP,20)

\$VEL.CP=0.2

BAS (#TOOL,0)

BAS (#BASE,0)

;ENDFOLD

;;FOLD STARTPOS

;\$BWDSTART = FALSE

;PDAT_ACT = PDEFAULT

;BAS(#PTP_DAT)

;FDAT_ACT = {TOOL_NO 0,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}

;BAS(#FRAMES)

;;ENDFOLD

\$ADVANCE = 5

;FOLD ---- Quickly skip BCO ----

; PTP \$AXIS_ACT

;ENDFOLD

Фіксуємо стартову точку початку роботи:

;FOLD ---- GO HOME ----

; PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 0.000, A6 0.000, E1 0, E2 0,
E3 0, E4 0, E5 0, E6 0}

;ENDFOLD

\$APO.CPTP = 1.000

\$APO.CDIS = 1.000

\$VEL.CP = 0.10000

Визначаємо системи координат бази, точки кріплення інструмента, центральної точки інструменту (кінець дроту зварювальної головки).

; ---- Setting reference (Base) ----

\$BASE = {FRAME: X 908.338,Y -66.029,Z 873.647,A 90.000,B 0.000,C -45.000}

; -----


```

; ---- Setting tool (TCP) ----
$TOOL = {FRAME: X 111.000,Y 0.000,Z 331.500,A 0.000,B 35.000,C 0.000}
; -----
; Show Weld gun
PTP {A1 37.25390,A2 -106.25000,A3 122.77500,A4 -59.73860,A5 58.42020,A6 -
90.73950} C_PTP
LIN {X -105.459,Y -65.621,Z -12.777,A -90.559,B -45.818,C -154.165} C_DIS

```

Ініціалізуємо початок роботи зварювального поста та задаємо переміщення

```

;FOLD TURN_ON WELDING
;--- WELDING TURN_ON ---
$OUT[1] = TRUE
;---CONFIRM WELDING ON ---
WAIT FOR $IN[1] == TRUE
;--- PLASMA WELDING_ON ---
;ENDFOLD

```

```

$VEL.CP = 0.00500
LIN {X -105.185,Y -63.626,Z -12.694,A -92.897,B -47.325,C -138.146} C_DIS
LIN {X -103.143,Y -58.831,Z -14.246,A -85.987,B -42.145,C -135.843} C_DIS
LIN {X -101.935,Y -57.019,Z -15.897,A -85.442,B -42.072,C -133.097} C_DIS
LIN {X -101.471,Y -56.422,Z -17.042,A -89.417,B -44.526,C -139.063} C_DIS
LIN {X -101.285,Y -56.195,Z -18.382,A -90.741,B -45.561,C -136.858} C_DIS
$VEL.CP = 0.10000

```

```

;FOLD TURN_OFF WELDING
;--- WELDING TURN_OFF ---
$OUT[1] = FALSE
;---CONFIRM WELDING OFF ---
WAIT FOR $IN[1] == FALSE
WAIT SEC 1
;--- WELDING TURN_FALSE ---
;ENDFOLD

```

```

LIN {X -168.987,Y -3.218,Z 32.705,A -90.741,B -45.561,C -136.858} C_DIS

```

```

$VEL.CP = 0.10000
LIN {X -171.112,Y -106.810,Z 50.415,A -39.756,B -20.901,C -132.565} C_DIS
LIN {X -105.459,Y -65.621,Z -12.777,A -39.756,B -20.901,C -132.565} C_DIS

```

```

;FOLD TURN_ON WELDING
;--- WELDING TURN_ON ---
$OUT[1] = TRUE
;---CONFIRM WELDING ON ---
WAIT FOR $IN[1] == TRUE
;--- PLASMA WELDING_ON ---
;ENDFOLD

```

```

$VEL.CP = 0.00500
LIN {X -105.921,Y -69.000,Z -12.916,A -41.236,B -34.035,C -121.441} C_DIS
LIN {X -105.692,Y -72.018,Z -13.860,A -45.428,B -30.225,C -125.762} C_DIS
LIN {X -105.117,Y -74.614,Z -15.577,A -44.835,B -30.983,C -124.881} C_DIS
LIN {X -104.823,Y -75.536,Z -16.841,A -40.286,B -30.127,C -125.313} C_DIS
LIN {X -104.692,Y -75.903,Z -18.382,A -37.094,B -26.835,C -127.860} C_DIS
$VEL.CP = 0.10000

```

```

;FOLD TURN_OFF WELDING
;--- WELDING TURN_OFF ---
$OUT[1] = FALSE
;---CONFIRM WELDING OFF ---
WAIT FOR $IN[1] == FALSE
WAIT SEC 1
;--- WELDING TURN_FALSE ---
;ENDFOLD

```

```

LIN {X -174.409,Y -122.169,Z 36.382,A -20.768,B -41.694,C -137.172} C_DIS
$VEL.CP = 0.10000
LIN {X -146.504,Y 0.222,Z 87.464,A -86.940,B -40.379,C -155.075} C_DIS
LIN {X -101.285,Y -56.195,Z 18.382,A -86.940,B -40.379,C -155.075} C_DIS

```

```

;FOLD TURN_ON WELDING

```

```
;--- WELDING TURN_ON ---
```

```
$OUT[1] = TRUE
```

```
;---CONFIRM WELDING ON ---
```

```
WAIT FOR $IN[1] == TRUE
```

```
;--- PLASMA WELDING_ON ---
```

```
;ENDFOLD
```

```
$VEL.CP = 0.00500
```

```
LIN {X -101.565,Y -56.540,Z 20.059,A -82.361,B -36.194,C -149.058} C_DIS
```

```
LIN {X -102.202,Y -57.385,Z 21.439,A -77.374,B -31.145,C -148.100} C_DIS
```

```
LIN {X -104.591,Y -61.828,Z 24.119,A -79.844,B -35.041,C -145.188} C_DIS
```

```
LIN {X -105.584,Y -65.346,Z 24.622,A -75.935,B -29.344,C -148.483} C_DIS
```

```
LIN {X -105.921,Y -69.000,Z 24.240,A -62.763,B -21.090,C -143.258} C_DIS
```

```
LIN {X -105.686,Y -72.055,Z 23.155,A -48.357,B -21.077,C -134.994} C_DIS
```

```
LIN {X -105.114,Y -74.625,Z 21.280,A -50.484,B -19.070,C -137.446} C_DIS
```

```
LIN {X -104.824,Y -75.534,Z 19.958,A -34.341,B -20.614,C -131.765} C_DIS
```

```
LIN {X -104.692,Y -75.903,Z 18.382,A -35.722,B -18.044,C -133.483} C_DIS
```

```
$VEL.CP = 0.10000
```

```
;FOLD TURN_OFF WELDING
```

```
;--- WELDING TURN_OFF ---
```

```
$OUT[1] = FALSE
```

```
;---CONFIRM WELDING OFF ---
```

```
WAIT FOR $IN[1] == FALSE
```

```
WAIT SEC 1
```

```
;--- WELDING TURN_FALSE ---
```

```
;ENDFOLD
```

```
LIN {X -164.360,Y -122.365,Z 83.811,A -19.644,B -31.805,C -140.345} C_DIS
```

```
$VEL.CP = 0.10000
```

```
LIN {X -173.364,Y -16.624,Z 57.173,A -84.989,B -40.993,C -139.241} C_DIS
```

```
LIN {X -103.986,Y -60.418,Z 0.000,A -84.989,B -40.993,C -139.241} C_DIS
```

```
;FOLD TURN_ON WELDING
```

```
;--- WELDING TURN_ON ---
```

```

$OUT[1] = TRUE
;---CONFIRM WELDING ON ---
WAIT FOR $IN[1] == TRUE
;--- PLASMA WELDING_ON ---
;ENDFOLD

```

```
$VEL.CP = 0.00500
```

```

LIN {X -103.324,Y -59.144,Z 5.354,A -86.295,B -41.157,C -146.099} C_DIS
LIN {X -101.395,Y -56.329,Z 9.770,A -86.083,B -40.879,C -146.488} C_DIS
LIN {X -98.170,Y -53.190,Z 13.038,A -84.052,B -37.904,C -149.795} C_DIS
LIN {X -93.621,Y -50.542,Z 14.820,A -87.597,B -41.633,C -153.380} C_DIS
LIN {X -88.240,Y -49.135,Z 14.645,A -89.913,B -43.750,C -177.182} C_DIS
LIN {X -85.111,Y -49.016,Z 13.619,A -89.985,B -44.894,C -174.303} C_DIS
LIN {X -82.235,Y -49.343,Z 12.029,A -89.928,B -42.850,C -178.652} C_DIS
LIN {X -80.578,Y -49.857,Z 13.024,A -90.245,B -43.342,C 174.042} C_DIS
LIN {X -77.826,Y -50.712,Z 14.676,A -91.398,B -39.164,C 170.380} C_DIS
LIN {X -73.423,Y -53.386,Z 15.945,A -102.422,B -29.351,C 151.303} C_DIS
LIN {X -69.441,Y -57.669,Z 15.351,A -107.544,B -28.112,C 145.139} C_DIS
LIN {X -66.682,Y -63.535,Z 12.069,A -109.181,B -30.029,C 140.113} C_DIS
LIN {X -65.921,Y -69.000,Z 6.187,A -116.957,B -32.231,C 129.260} C_DIS
LIN {X -65.971,Y -70.411,Z 3.229,A -117.122,B -26.759,C 137.192} C_DIS
LIN {X -65.989,Y -70.620,Z 1.973,A -119.931,B -35.257,C 122.373} C_DIS
$VEL.CP = 0.10000

```

```

;FOLD TURN_OFF WELDING
;--- WELDING TURN_OFF ---
$OUT[1] = FALSE
;---CONFIRM WELDING OFF ---
WAIT FOR $IN[1] == FALSE
WAIT SEC 1
;--- WELDING TURN_FALSE ---
;ENDFOLD

```

```

LIN {X 22.627,Y -85.975,Z 45.694,A -119.931,B -35.257,C 122.373} C_DIS
$VEL.CP = 0.10000

```

LIN {X -67.188,Y 36.303,Z 67.089,A -89.273,B -48.890,C 172.459} C_DIS

LIN {X -79.363,Y -38.551,Z 1.907,A -89.273,B -48.890,C 172.459} C_DIS

;FOLD TURN_ON WELDING

;--- WELDING TURN_ON ---

\$OUT[1] = TRUE

;---CONFIRM WELDING ON ---

WAIT FOR \$IN[1] == TRUE

;--- PLASMA WELDING_ON ---

;ENDFOLD

\$VEL.CP = 0.00500

LIN {X -79.578,Y -39.391,Z 4.656,A -90.719,B -41.634,C 171.407} C_DIS

LIN {X -80.425,Y -42.668,Z 8.230,A -91.130,B -37.639,C 173.794} C_DIS

LIN {X -81.776,Y -47.651,Z 11.066,A -89.671,B -35.299,C -178.620} C_DIS

\$VEL.CP = 0.10000

;FOLD TURN_OFF WELDING

;--- WELDING TURN_OFF ---

\$OUT[1] = FALSE

;---CONFIRM WELDING OFF ---

WAIT FOR \$IN[1] == FALSE

WAIT SEC 1

;--- WELDING TURN_FALSE ---

;ENDFOLD

Повертаємо робота в початкове положення.

LIN {X -84.517,Y 10.102,Z 92.657,A -89.671,B -35.299,C -178.620} C_DIS

END

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці при використанні промислових роботів

Роботи обладнані низкою вбудованих функцій безпеки та електричними інтерфейсами безпеки для під'єднання інших пристроїв і додаткових захисних пристроїв. Кожна функція та інтерфейс безпеки постійно контролюються згідно з EN ISO13849-1:2008.

Використання параметрів конфігурації безпеки, що відрізняються від параметрів, визначених оцінкою ризиків, виконаною складальником системи, може призвести до небезпек, що непереборні в достатній мірі, або до ризиків, що недостатньо знижені.

Використання та налаштування функцій та інтерфейсів, пов'язаних з безпекою, повинні виконуватися відповідно до оцінки ризиків, яку збирач системи виконує для певного додатка робота.

У разі виявлення роботом несправності або порушення в системі безпеки, наприклад, унаслідок обриву одного з дротів у ланцюзі аварійної зупинки, несправності датчика положення або порушення межі пов'язаної з безпекою функції, відбувається зупинка категорії 0. Найгірше значення часу від виявлення помилки до зупинки робота наведено наприкінці цього розділу. Цей час слід узяти до уваги в рамках оцінки ризику, яку виконує складальник системи.

Робот забезпечений низкою функцій безпеки, які можуть використовуватися для обмеження руху його зчленувань і Центральної точки інструменту (ЦТІ). ЦТІ являє собою центральну точку фланця приєднання з додаванням зміщення ЦТІ.

Час зупинки системи безпеки являє собою час від виникнення збою або порушення функції, пов'язаної з безпекою, до моменту, коли робот переходить до повної зупинки і задіюються механічні гальма. Вимірювання виконуються за такої конфігурації робота:

- Висування: 100% (маніпулятор робота повністю висунутий у горизонтальній площині).
- Швидкість: Обмеження швидкості ЦТІ системи безпеки встановлюється на описане обмеження.
- Корисне навантаження: максимальне дозволене корисне навантаження для робота, прикладене до ЦТІ (8 та 16 кг).

Найгірше значення часу для зупинки категорії 0 у разі порушення обмежень безпеки або інтерфейсів наведено в такій 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

У разі наближення маніпулятора робота до межі безпеки розширене програмне забезпечення управління шляхом знизить його швидкість або запустить програму зупинки. Отже, порушення меж відбудеться тільки у виняткових випадках. Але в разі порушення межі система безпеки виконає зупинку категорії 0.

В середньому час визначення загрози датчиками робота складають 100-250 мс, а час реакції та зупинки 1100-1250мс.

4.2 Безпека у надзвичайних умовах

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях під час використання зварювальних роботів є критично важливим для захисту працівників, обладнання та об'єкта. Надзвичайні ситуації можуть включати перебої в

електропостачанні, механічні несправності або інші несподівані події. Нижче наведені ключові заходи безпеки та протоколи, які слід впровадити:

1. Перебої в електропостачанні (блекаути)

Встановлення UPS. Використання джерела безперебійного живлення для забезпечення резервного живлення контролера робота та основних систем під час блекауту. Це дозволяє здійснити безпечне вимкнення.

Аварійне відключення живлення (EPO). Необхідно переконатись, що робот має кнопку аварійного відключення живлення, яка негайно відключає живлення робота у разі надзвичайних ситуацій.

Контрольоване вимкнення. Впровадження процедур для контрольованого вимкнення зварювального робота під час перебоїв у електропостачанні. Це мінімізує ризик пошкодження робота та оброблюваної деталі.

Резервне копіювання даних. Регулярне резервне копіювання робочих даних та програм робота для запобігання втраті даних під час перебоїв у електропостачанні.

Процедури відновлення живлення.

Протоколи перезапуску. Встановлення протоколів для безпечного перезапуску робота після відновлення електропостачання, включаючи перевірку систем та калібрування.

-Навчання операторів. Навчання операторів тому, як діяти під час перебоїв у електропостачанні та правильним процедурам при відновленні живлення.

2. Механічні несправності

Профілактичне обслуговування. Планування регулярного обслуговування для інспекції та сервісу механічних компонентів робота з метою запобігання несподіваним несправностям.

Заміна компонентів. Своєчасна заміна зношених або пошкоджених частин.

Розташування кнопок аварійної зупинки. Забезпечення легкого доступу до кнопок аварійної зупинки навколо робочої зони робота. Ці кнопки повинні негайно зупинити всі рухи робота.

3. Пожежна безпека та небезпечні випари

Вогнегасники. Оснащення території відповідними вогнегасниками та забезпечення їх легкого доступу.

Системи пожежогасіння. Розгляд можливості встановлення автоматичних систем пожежогасіння, особливо в зонах, де виконується зварювання.

Пожежні тренування. Проведення регулярних пожежних тренувань для забезпечення того, щоб всі працівники знали, як безпечно евакуюватися.

Витяжка випарів. Встановлення ефективних систем витяжки випарів та вентиляції для видалення небезпечних випарів та газів, що утворюються під час зварювання.

Моніторинг. Використання сенсорів для моніторингу якості повітря та виявлення небезпечних рівнів випарів.

4. Протоколи безпеки та навчання

Плани безпеки. Розробка та впровадження комплексних планів безпеки, які включають процедури для різних надзвичайних ситуацій.

Знаки безпеки. Розміщення чітких знаків, що вказують на аварійні виходи, кнопки аварійної зупинки та інше обладнання безпеки.

5. Резервні та захисні системи

Резервні системи. Впровадження резервних систем для критичних функцій робота, щоб забезпечити безперебійну роботу під час незначних несправностей.

Контролери безпеки. Використання контролерів безпеки, які можуть керувати надзвичайними ситуаціями та забезпечувати безпечну роботу робота.

Системи міжблокування. Встановлення систем міжблокування на дверях, захисних огорожах та інших захисних бар'єрах для запобігання доступу до робочої зони робота під час його роботи.

Механізми захисту від відмов. Проектування системи з механізмами захисту від відмов, які переходять у безпечний стан у разі несправності.

6. Комунікація та моніторинг

Системи тривоги. Встановлення систем тривоги для сповіщення персоналу про надзвичайні ситуації, такі як перебої в електропостачанні, пожежі або механічні несправності.

Протоколи комунікації. Встановлення чітких протоколів комунікації для повідомлення та реагування на надзвичайні ситуації.

Моніторинг у реальному часі. Використання систем моніторингу в реальному часі для відстеження продуктивності робота та раннього виявлення аномалій.

Віддалений моніторинг. Впровадження можливостей віддаленого моніторингу, щоб дозволити керівникам контролювати операції та швидко реагувати на надзвичайні ситуації.

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях під час використання зварювальних роботів вимагає комплексного підходу, що включає належне обладнання, регулярне обслуговування, ефективні протоколи безпеки, всебічне навчання операторів та постійний моніторинг. Впровадження цих заходів дозволяє захистити працівників, зберегти обладнання та підтримувати безпечне робоче середовище навіть під час несподіваних подій, таких як перебої в електропостачанні або механічні несправності.

РОЗДІЛ 5

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ

Розрахунок стандартів часу зварювання для промислового робота включає кілька етапів і факторів. Часові стандарти можна розрахувати за допомогою формул, які враховують різні параметри, такі як швидкість зварювання, довжина зварного шва, кількість зварних швів та час налаштування. Виконаємо усереднений розрахунок часу 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:

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

Виконаємо розрахунок загального часу (T_{total}):

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

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

Таким чином загальний час, необхідний для зварювальної операції, включаючи налаштування, зварювання, позиціонування та остаточні налаштування, становить приблизно 14 хвилин. Цей розрахунок допомагає стандартизувати час зварювання для планування та розкладу у виробничих умовах.

Як показує практичний досвід використання зварювальних роботів такий час приблизно в 5 разів менший, ніж при використанні для зварювання людини.

Впровадження зварювального робота у виробництво може значно вплинути на різні аспекти виробництва, включаючи продуктивність, вартість, якість та ефективність. Для кількісної оцінки цих ефектів використаємо формули та метрики.

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.

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

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

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

$$\text{ОЕЕ} = (D_{\text{доступність}} + \text{Пр}_{\text{продуктивність}} + Q_{\text{якість}}), \quad (10)$$

де $D_{\text{доступність}}$ – доступність (частка запланованого часу, протягом якого обладнання доступне для роботи); $\text{Пр}_{\text{продуктивність}}$ - 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).

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

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

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано спосіб використання для плазмового зварювання рами роботів наплавленням. Для обертання рами використовували механізм KUKA KP1 H250 EN980, який має 1-осьову зовнішню вісь. Для складання використовували робота з меншою вантажопідйомністю - робот KUKA KR 8 R1420 arc HW (6-осьовий робот-маніпулятор, він має вантажопідйомність 8 кг і радіус дії 1421 мм). Для моделювання зварювання використовували робота KUKA KR 16 R1610 (6-осьовий маніпулятор, він має вантажопідйомність 16 кг і радіус дії 1612 мм).

2. Створена модель взаємодії роботів на складальній та зварювальній операціях, що дозволило виконати програмування роботів та визначення раціональних режимів їх роботи.

3. Підвищення довговічності у порівнянні з традиційною технологією відбулось за рахунок покращення процесів зварювання та підвищення експлуатаційних властивостей зварних швів.

4. Виконаний розрахунок ефективності від впровадження промислового робота для зварювання рами дозволив встановити наступне. Ефективність від впровадження дозволяє досягти зменшення циклу часу на виробництво однієї рами на 50% при підвищенні якості на 60%. Продуктивність виробництва підвищується на 50%, а економія складає 43 тис.грн. на місяць на одному зварювальному пості. В той же час загальна ефективність використання обладнання складає 74,9%, що вказує на можливість суттєвої оптимізації за рахунок зменшення простоїв обладнання та підвищення його продуктивності. Показник рентабельності інвестицій демонструє високу 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

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,” *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.