

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»
(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение эффективности кузовной сборки автомобиля путём
автоматизации сборочных операций с применением промышленных
роботов

Обучающийся

А.А. Муллаяров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский

руководитель

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1 Исходные данные | 8 |
| 1.1 Последовательность выполнения операций | 9 |
| 1.2 Исходные данные для точечной контактной сварки | 16 |
| 1.3 Описание промышленного робота..... | 17 |
| 2 Транспортировки автодетали..... | 20 |
| 2.1 Зажимное устройство для промышленного робота | 20 |
| 2.2 Выбор типа робота транспортных роботов | 28 |
| 2.3 Определение типа сварочных роботов..... | 32 |
| 2.4 Характеристика движения робота | 35 |
| 2.5 Вспомогательная ось | 36 |
| 2.6 Конвейер..... | 38 |
| 3 Стационарная сварка..... | 42 |
| 3.1 Стандартное оборудование..... | 43 |
| 3.1.1 Сварочный пистолет для 5080R01 Z..... | 43 |
| 3.1.2 Сварочный пистолет для 5080R02 Z..... | 46 |
| 3.1.3 Сварочный пистолет для 5080R03 Z..... | 48 |
| 3.2 Конфигурация робота в процессе сварки..... | 49 |
| 3.3 Обслуживание колпачков сварочного пистолета..... | 51 |
| 4 Точечная контактная сварка в стационарном сварочном пистолете..... | 54 |
| 5 Калибрование инструмента..... | 56 |
| 6 Организация безопасности..... | 62 |
| 7 Настройка и программирование робота | 73 |
| 7.1 Вспомогательное оборудование робота..... | 73 |
| 7.2 Программирование робота | 76 |
| Заключение | 81 |
| Список используемой литературы | 83 |

Введение

Мир не стоит на месте. То, что казалось невозможным 20 лет назад, сейчас является обычным явлением. Роботы, робототехника, роботизированные системы управления, – всё это стало неотъемлемой частью жизни [1-2]. Сегодня уже никого не удивляет применение роботов в современном мире. Робототехника позволяет более точно и безопасно выполнять сложнейшие манипуляции и огромные вычисления, исключая при этом человеческий фактор. Основные тенденции развития робототехники на сегодняшний день – полная автоматизация и интеллектуальный алгоритм выполнения задач [3].

В современном обществе идет активное внедрение роботов в нашу жизнь. Робототехника является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса. Роботы применяются в различных сферах: в промышленности, в медицине, в строительстве, в сельском хозяйстве и животноводстве, в науке и т.д. Очень многие процессы в жизни человек уже и не мыслит без робототехнических устройств.

Робототехника – это научная и техническая база для проектирования, производства и применения роботов. Она позволяет использовать на практике теоретические знания по таким предметам, как математика, физика, информатика и т.п. Несомненно, существование электронно-вычислительных машин в современном мире связано с гигантским скачком развития информационных технологий во второй половине XX века, что значительно ускорило и продвинуло разработку робототехнических систем. Главная задача робототехники – это конструирование и использование роботов и основанных на их применении роботизированных систем любого назначения. Робот – это своеобразный универсальный аппарат, который осуществляет механические действия, подражая человеку, занимающегося тяжелой физической деятельностью [4]. В структуру робота прежде всего входят устройства

манипуляции или механические манипуляторы. Каждый из них снабжён приводами: электрическими, гидравлическими или пневматическими. Также присутствует специальный захватывающий механизм или инструмент, средства передвижения, модуль управления приводами и движением, специальные сенсорные датчики, камеры для чувствительности робота во внешней среде и вычислительный модуль. Основными достоинствами роботов являются их универсальность, многофункциональность и быстрая адаптация для решения новых операций. Они освобождают человека от опасной работы, всегда выполняют задания точно и вовремя; могут сделать гораздо больше, чем человек за то же время, они никогда не устают; могут работать в труднодоступных местах, им не нужна пища, отпуск, а только энергия. Роботы подразделяются по способу контроля на программируемых, адаптивных и интеллектуальных. Машины с программным контролем – это роботы, имеющие жёстко заданный алгоритм, их включают в группу первого поколения. Второе поколение – с адаптивным контролем, машины умеют контактировать с окружающим миром и воспринимать изменения, работать в непредвиденных ситуациях. И последние – роботы с интеллектуальным контролем, то есть имеющие искусственный интеллект, – имеют развитую систему восприятия данных, которая позволяет им воспроизводить поведение человека в аналогичных ситуациях [2]. Роботизированное будущее уже наступило [5-9]. Темпы развития этого направления невероятны. Трудно представить, что будет еще через десяток лет. Уже сейчас невозможно вообразить мир без робототехники, она проникла во все отрасли производства и автоматизировала человеческий труд. Следовательно, современный человек должен быть мобильным, технически грамотным и готовым к внедрению инноваций в жизнь.

Применительно к автомобилестроению сейчас используются адаптивные роботы, способные реагировать на изменение окружающей ситуации. Использование роботов в автомобилестроении позволяет

исключить человеческий фактор и избавиться от ошибок и неточности в процессе сборки, при этом сохранив высокий темп сборки, а также возможность спрогнозировать цикл работы.

Основным принципом построения производств, позволяющих в случае необходимости произвести переналадку участка под новые задачи, является модульность. Развитие автоматизации в этом случае происходит от простого к сложному: от гибких производственных модулей к гибким производственным комплексам и далее к гибким автоматизированным производствам.

Последующее развитие предусматривает полностью автоматическое производство с минимальным количеством обслуживающего и контролирующего персонала.

Цель работы является проектирование автоматизированного участка цеха кузовной сборки автомобиля с применением промышленных роботов. Объектом работы является автодеталь, представляющая собой часть кузова автомобиля. Согласно требованиям технологического процесса, необходимо проектирование сварочного участка сборки элементов кузова автомобиля, подбор соответствующего оборудования и организация транспортировки автодетали.

На основании поставленной цели работы сформулированы следующие задачи:

- анализ исходных данных для проектирования;
- формирование схемы технологического процесса;
- построение макета оборудования для формирования технологического процесса;
- проектирование сварочной оснастки для позиционирования и фиксации автодетали;
- определение типа промышленных роботов на основании расчёта нагрузочных характеристик;

- построение симуляционной модели сборочного участка цеха;
- настройка и программирование траекторий движения для промышленных роботов;
- формирование зон безопасности для обеспечения сохранности жизни и здоровья обслуживающего персонала.

Объектом исследования являются детали, представляющие собой сборочную единицу кузовной части автомобиля. Предметом исследования является 3D моделирование технологического процесса сборки кузовной части автодетали [10].

Применяемые методы исследования – программное моделирование в системах автоматизированного проектирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Захватное устройство, для транспортировки и точечной контактной сварки в стационарном сварочном пистолете;
2. Позиционирующая станция для сварки автодеталей;
3. Компоновка основного и вспомогательного оборудования для обеспечения циклической и безаварийной работы промышленных роботов;
4. Концепт безопасности, обеспечивающий защиту обслуживающего персонала в процессе работы сборочного участка;
5. Параметры программирования и траектории движения промышленного робота;

Научной новизной работы является цеховая компоновка сварочной оснастки, а также спроектированные устройства, позволяющие организовать циклическую работу по сборке кузовной части автомобиля на производстве автомобильной промышленности.

Практическая значимость проекта заключается в возможности применения полученных проектных и расчётных данных для организации циклического сборочного участка на производстве. Использование компоновки и определённого типа основного оборудования, включающего промышленные роботы, сварочную оснастку, позволяет обеспечить достижимость и безаварийную эксплуатацию оборудования в соответствии с технологическим процессом; изготовление оборудования в соответствии с проектными рекомендациями гарантирует совместимость и безаварийное взаимодействие смежных единиц оборудования [11-13]; применяемое программное обеспечение позволяет симулировать движения промышленного робота и подготовить программные данные для реализации движения промышленного робота, что позволяет исключить программирование движений промышленных роботов на производстве; разработанная система безопасности позволяет снизить количество несчастных случаев на производстве. Данный факт значительно снижает экономические затраты на реализацию проекта; разработка системы безопасности позволит избежать несчастных случаев связанных с нанесением травм обслуживающему персоналу.

1 Исходные данные

На проектируемом участке цеха происходит установка и приваривание панели к автодетали. На рисунке 1 представлена схема сборки автодетали: к полученной на предыдущем этапе автодетали (а) присоединяется панель (б). Присоединение панели осуществляется при помощи точечной контактной сварки. Исходными данными для проектирования являются: модели автодеталей; точки прижима автодетали; сварочные точки.

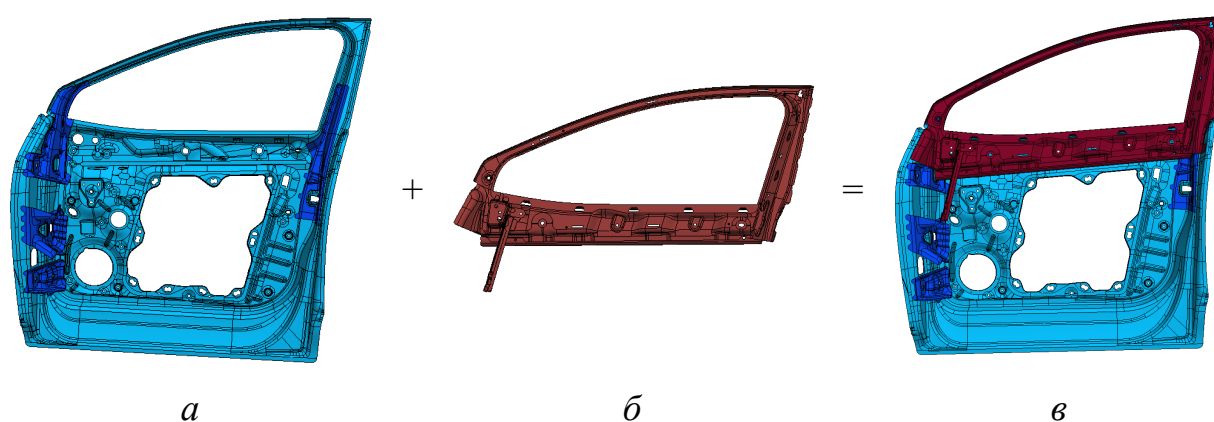


Рисунок 1 - Схема сборки автодетали на проектируемом участке цеха

Места прижима определяются из условий технологического процесса сборки на текущем этапе. Поскольку к существующей автодетали (а) присоединяется панель (б), которая не закреплена на автодетали (а), то необходимо спроектировать механизм зажима таким образом, чтобы в процессе установки панели не произошло смещения панели. С учётом вышесказанного для того, чтобы зафиксировать и автодеталь, и панель необходимо увеличить количество точек прижима при этом не мешая процессу сварки.

На рисунке 2 показаны примерное расположение точек прижима.

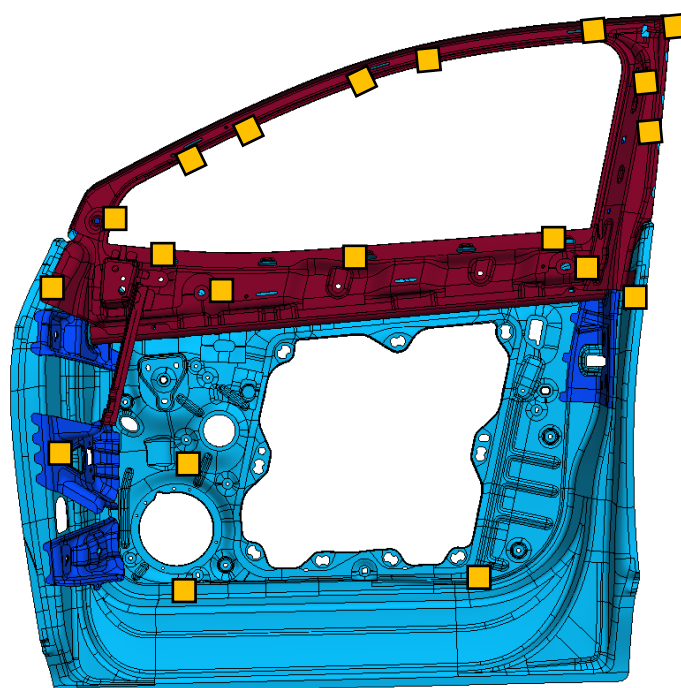


Рисунок 2 – Точки прижима автодетали

Для того, чтобы определить какая область автодетали будет занята сварочным пистолетом и как правильно расположить прижимные механизмы, чтобы было возможно реализовать сварку в необходимых местах, требуется определить все сварочные точки и подобрать соответствующие сварочные пистолеты, после определения типов сварочных пистолетов составляется массив сварочных точек, для наглядного представления занимаемого пространства для процесса сварки. После получения массива сварочных точек следует приступать к проектированию захватного устройства с учётом свободного пространства.

1.1 Последовательность выполнения операций

Время цикла работы проектируемого участка цеха составляет 75сек, это значит, что все роботы участвующие в процессе сборки должны завершить все

свои операции в течение 75 секунд и передать результирующую автодеталь на следующий участок сборки.

На рисунке 3 представлена планировка расположения оборудования и последовательности работы. Роботы с номерами 5079 и 5082 выполняют транспортировочную функцию и оснащаются захватывающими устройствами. Роботы с номером 5080 производят точечную сварку автодетали. Цикл начинается с того, что робот соседнего участка устанавливает автодеталь в захватное устройство робота 5079. После передачи автодетали роботы 5080R1-R2-R3 начинают сварку. После окончания процесса сварки робот 5082 снимает автодеталь с захватного устройства 5079 и завешивает её на потолочный конвейер 5084, для передачи на следующий этап сборки. Опишем последовательность операций для автодетали:

- фиксация захватного устройства 5079 в станции 5080;
- установка автодетали в захватное устройство 5079;
- сварка в станции 5080;
- освобождение автодетали из захватного устройства 5079;
- снятие автодетали роботом 5082;
- установка автодетали на потолочный конвейер 5084.

В таблице 1 представлено подробное описание последовательности работы роботов. Графическое представление циклограммы работы участка представлено на рисунке 4.

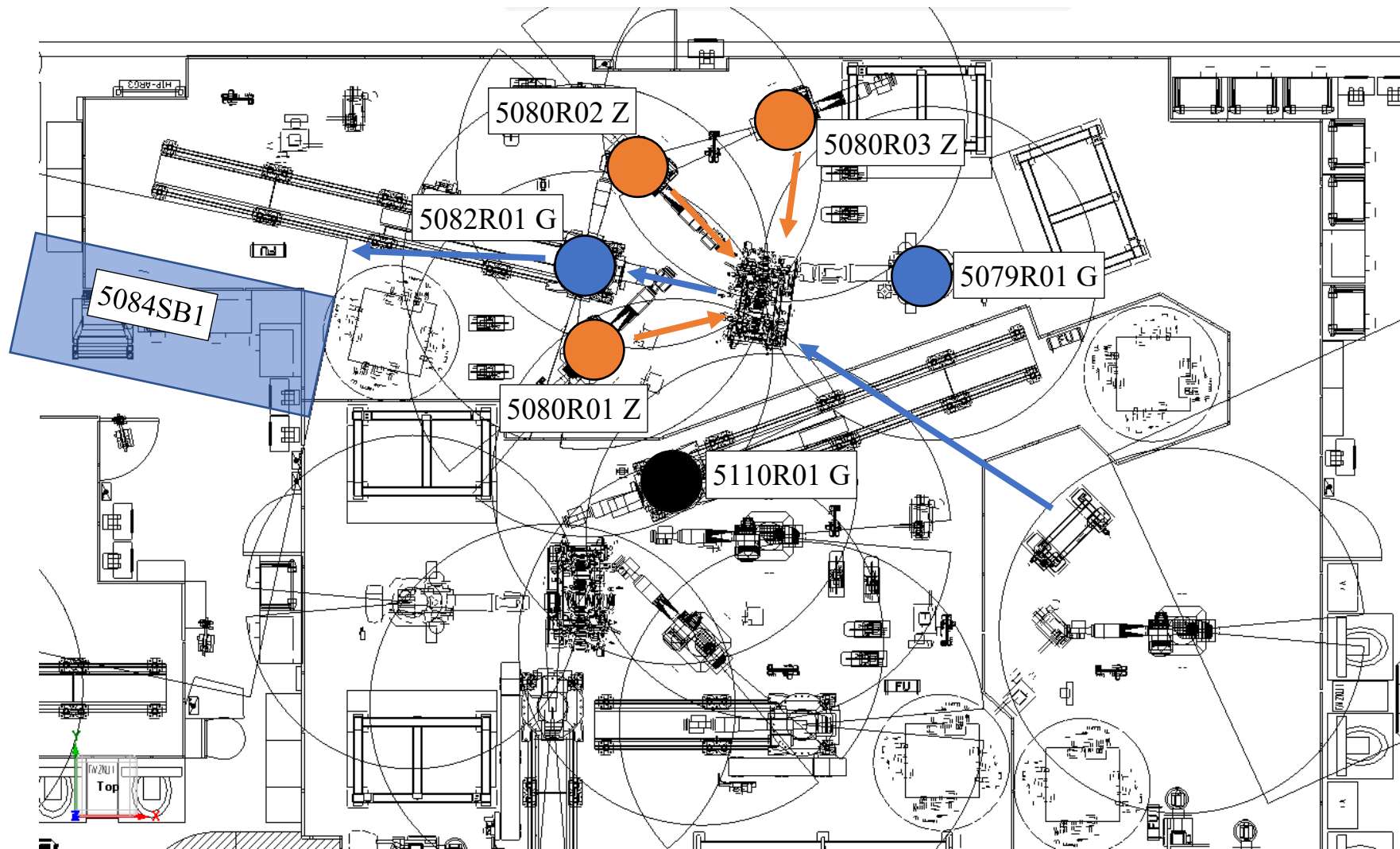


Рисунок 3 – Планировка расположения оборудования и последовательность работы

Таблица 1 – Описание последовательности работы робота

| № операции | Робот | Тип процесса | Описание процесса | Код оборудования (по плану размещения) | Количество процессных точек | Начало процесса | Время выполнения | Окончание процесса |
|------------|---------|-----------------|--|--|-----------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 1 | 5110R01 | транспортировка | установка автодетали роботом смежного участка в станцию 5080 | ST5080 | - | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 5079R01 | захват | поворот из позиции СТАРТ к сварочной станции | ST5080 | - | 0 | 2 | 2 |
| 2 | | | фиксация захватного устройства в станции ST5080 | 5079R01 G | - | 2 | 4 | 6 |
| 3 | | | фиксация автодетали (от робота 5110R01) | 5079R01 G | - | 6 | 4 | 10 |
| 4 | | | процесс точечной сварки автодетали роботами 5080R | 5080 R01/R02/R03Z | - | 10 | 35 | 45 |
| 5 | | | освобождение автодетали из захватного устройства 5079R01 G (снятие автодетали роботом 5082R01) | 5082R01 G | - | 45 | 2 | 47 |
| 6 | | | освобождение захватного устройства из станции ST5080 | ST5080 | - | 47 | 2 | 49 |
| 7 | | | возврат в позицию СТАРТ | 5079R01 | - | 49 | 2 | 51 |

Продолжение таблицы 1

| № операции | Робот | Тип процесса | Описание процесса | Код оборудования (по плану размещения) | Количество процессных точек | Начало процесса | Время выполнения | Окончание процесса |
|------------|---------|--------------|---|--|-----------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 1 | 5080R01 | сварка | поворот из позиции СТАРТ к станции ST5080 | ST5080 | - | 8 | 2 | 10 |
| 2 | | | сварка | 5080R01 Z | 4 | 10 | 20,28 | 30,28 |
| 3 | | | поворот из позиции сварки в позицию СТАРТ | ST5080 | - | 30,28 | 2 | 32,28 |
| 1 | 5080R02 | сварка | поворот из позиции СТАРТ к станции ST5080 | ST5080 | - | 8 | 2 | 10 |
| 2 | | | сварка | 5080R02 Z | 6 | 10 | 35 | 45 |
| 3 | | | поворот из позиции сварки в позицию СТАРТ | ST5080 | - | 45 | 2 | 47 |
| 1 | 5080R03 | сварка | поворот из позиции СТАРТ к станции ST5080 | ST5080 | - | 8 | 2 | 10 |
| 2 | | | сварка | 5080R03 Z | 5 | 10 | 31,53 | 41,53 |
| 3 | | | поворот из позиции сварки в позицию СТАРТ | ST5080 | - | 41,53 | 2 | 43,53 |
| 1 | 5082R01 | захват | поворот из позиции СТАРТ к станции ST5080 | - | - | 45 | 2 | 47 |

Продолжение таблицы 1

| № операции | Робот | Тип процесса | Описание процесса | Код оборудования (по плану размещения) | Количество процессных точек | Начало процесса | Время выполнения | Окончание процесса |
|------------|---------|--------------|--|--|-----------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 2 | 5082R01 | захват | снятие автодетали со станции ST5080 | ST5080 | - | 47 | 6 | 53 |
| 3 | | | движение до стационарного сварочного пистолета | 5082R01 | - | 53 | 4 | 57 |
| 4 | | | сварка в стационарном пистолете | 5082R01 SPZ1 | 3 | 57 | 30 | 12 |
| 5 | | | движение до потолочного конвейера | 5082R01 | - | 12 | 4 | 16 |
| 6 | | | установка автодетали на потолочный конвейер | 5084SB2 | - | 16 | 6 | 22 |
| 7 | | | движение по 7-й оси в позицию СТАРТ | 5082R01 | - | 22 | 8 | 30 |

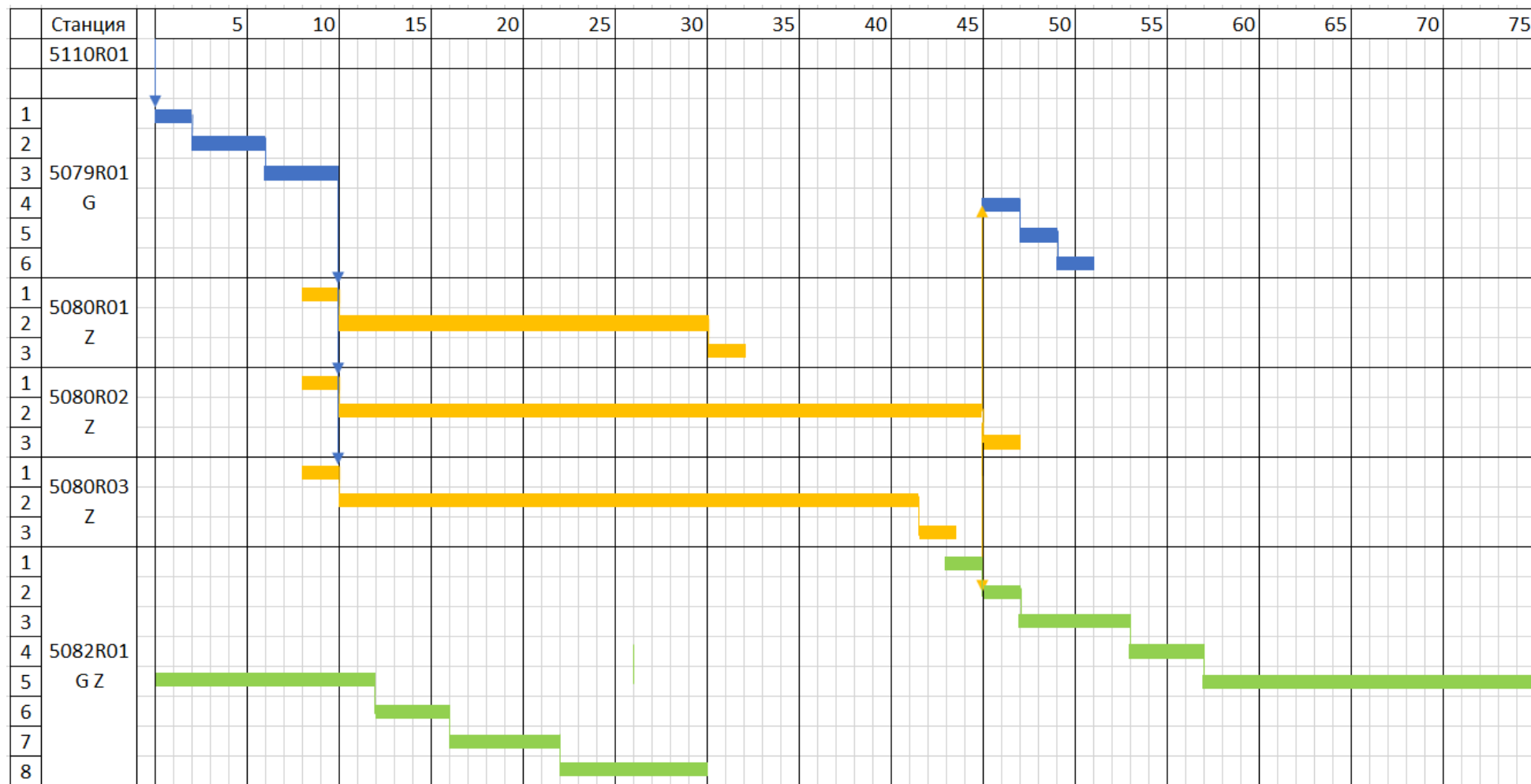
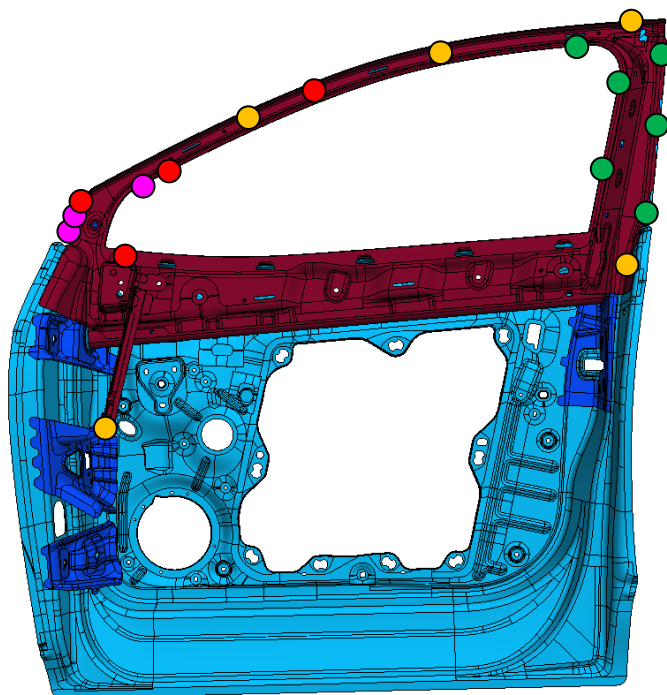


Рисунок 4 – Графическое представление циклограммы движения робота

1.2 Исходные данные для точечной контактной сварки

На рисунке 5 показано расположение сварочных точек для роботов 5080R01; 5080R02; 5080R03; 5082R01.



- - 5080R01
- - 5080R02
- - 5080R03
- - 5082R01

Рисунок 5 – Положение сварочных точек на автодетали

Для сварочных пистолетов, устанавливаемых на фланце 6-й оси работа подбор геометрии производится только по геометрии автодетали. Критерии удовлетворительной работы устройства в этом случае является возможность без столкновений произвести точечную контактную все обозначенных точек.

Для представленного распределения сварочных точек максимальное усилие сжатия на сварочное пятно составляет 5100Н и диаметр сварочного

пятна 16мм. Эти данные являются дополнительным фактором к подбору сварочного пистолета [5].

Как видно из циклограммы, роботы должны работать параллельно друг с другом. Однако, из распределения точек видно, что высокая кучность сварочных точек может привести к тому, что роботы будут перекрывать рабочую область соседним роботам, мешая им работать. Для того, чтобы избежать перекрытия рабочей области необходимо спланировать последовательность сварки каждой точки исходя из удалённости точек между собой. Таким образом, чтобы роботы не мешали друг другу в процессе параллельной работы. Однако, составление последовательности обработки сварочных точек станет возможным только после того, как будет определён тип робота, тип сварочного пистолета и появится дизайн сварочной оснастки – стола для крепления автодетали.

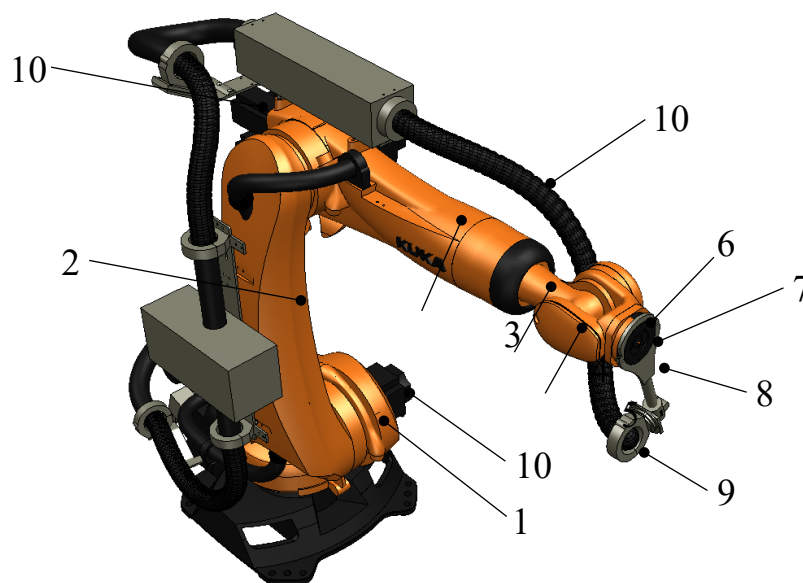
Для выполнения всех технологических операций в разрабатываемом участке сборочного цеха будем использовать промышленные роботы KUKA, выбор которого будет осуществляться на основании расчётов нагрузки на основные оси робота [14]. Система безопасности выстраивается на основании существующих линии защитных ограждений с учётом возможного присутствия рабочего в непосредственной близости к защитным ограждениям.

1.3 Описание промышленного робота

Для организации автоматизированного производства кузовной сборки автомобиля применяются промышленные роботы высокой грузоподъёмностью. Существует большое количество производителей промышленных роботов по всему миру. Основные из производителей это: KUKA Robotics, Fanuc, ABB. Наибольшее распространение в России и Европе получили промышленные роботы немецкого производства KUKA. Высокая точность, удобство программирования, компактность расположения

вспомогательного оборудования и широкий выбор моделей делает эти промышленные роботы очень популярными у производителей.

Рассмотрим основные элементы промышленного робота KUKA серии лёгких роботов, называемых KR QUANTEC, полезная нагрузка 120-300кг [14]. На рисунке 6 представлены основные элементы конструкции промышленного робота KUKA. Схема вращения осей робота представлена на рисунке 7. Кабеле проводящий шланг 11 используется для подключения оборудования, которое закреплено на фланце робота 7. В случае закрепления сварочного пистолета в кабеле проводящем шланге прокладывают подвод охлаждающей жидкости и питание сварочных клещей. В случае закрепления захватного устройства прокладываются: кабели питания, пневмошланги для управления зажимными механизмами; сигнальные кабели датчиков и прочее.



1 – 6 оси вращения робота; 7 – фланец робота; 8 – «ракетка» робота для крепления кабеле проводящего шланга; 9 – кольцо крепления кабеле проводящего шланга на «ракетке» робота; 10 – приводы осей робота

Рисунок 6 – Основные элементы конструкции промышленного робота KUKA

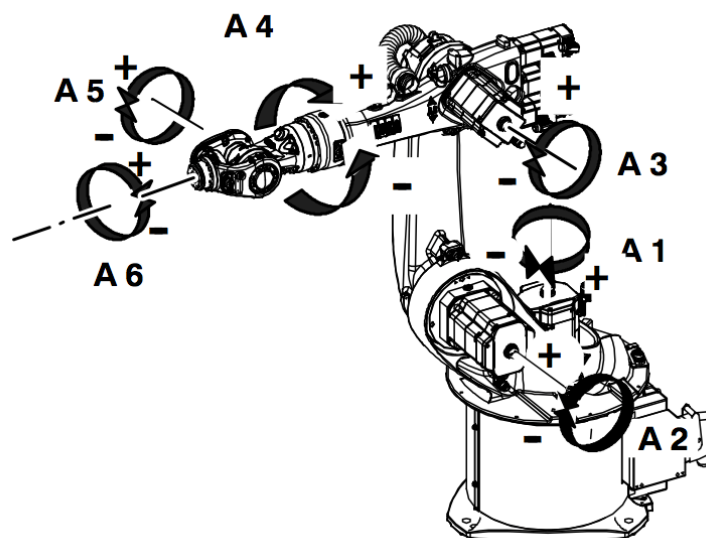


Рисунок 7 – Схема вращения осей промышленного робота фирмы KUKA

Ракетка крепления кабеле проводящего шланга крепится на 6-й оси робота и может быть повёрнута на 360° в зависимости от необходимости технологического процесса [15].

В результате проведения анализа исходных данных были определены основные элементы оборудования, участвующие в процессе проектирования сборочной линии. Определены необходимые требования для подбора сварочного пистолета: усилия прижима, диаметр сварочного колпачка. Определены типы промышленных роботов, подходящие для выполнения необходимых технологических операций. Рассмотрена циклограмма работы сборочного участка и определена последовательность выполнения операций. Обозначены и распределены по роботам процессные точки для точечной контактной сварки, а также позиции для передачи автодетали на следующий этап сборки.

2 Транспортировки автодетали

2.1 Зажимное устройство для промышленного робота

Для надёжной фиксации автодетали в процессе сварки необходимо рассчитать усилие прижима и определиться с типом прижимного механизма. Сварочная оснастка, для разрабатываемого сборочного участка цеха, проектируется на основании стандарта EGT (Euro-Greiffer-Tooling). Одной из фирм, выпускающей пневматические зажимные механизмы совместимые со стандартом EGT, является фирма “Tunkers”. На основании ряда параметров определим тип зажимного механизма, удовлетворяющего условиям проекта сборки автодетали [16].

Внешний вид зажимного механизма представлен на рисунке 8. Технологические особенности данного устройства позволяют плавно настраивать угол открытия в пределах от 5° до 135° ; обладает противоударным блоком контактов и имеет срок эксплуатации 3 миллиона циклов срабатывания.

Для определения конкретного типа зажима необходимо определить требуемую силу зажима. Требуемое усилие деформации было установлено опытным путём и по результатам опыта была выведена упрощённая формула силы зажима F :

$$F = 300 \cdot s^3 \quad (1)$$

где s – толщина листа в месте прижима.

Все зажимы с поворотным расположением рычага обеспечивают определённый крутящий момент на приводной оси. Формула 2 показывает уменьшение действующей силы зажима в зависимости от длины рычага, рисунок 9 [17-19]:

$$M = F_s \cdot l \rightarrow F_s = \frac{M_{max}}{l} \quad (2)$$

где M – крутящий момент;

F_s – сила зажима;

l – длина рычага.



Рисунок 8 – Внешний вид пневматического зажима

После определения необходимой силы зажима в зависимости от положения изготовленной детали, необходимо определить момент зажима

$$M_s = F_s \cdot l \quad (3)$$

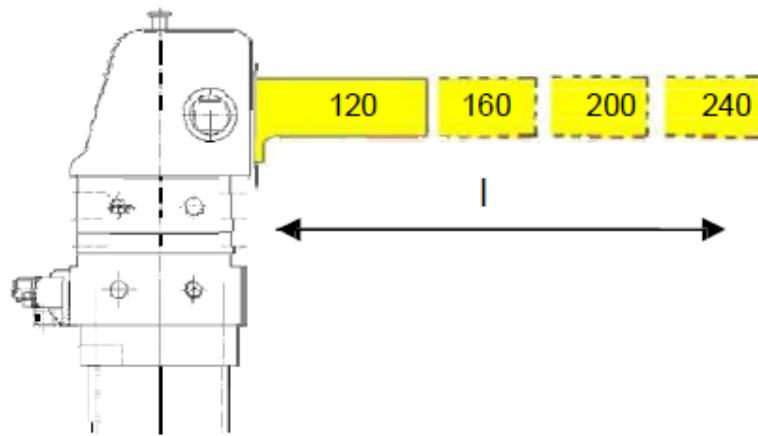


Рисунок 9 – Определение длины зажимного рычага

Для исходной автодетали места зажима имеют толщину стали 0,7мм. По формуле (1) рассчитаем требуемое усилие зажима:

$$F = 300 \cdot (0,7)^2 = 147\text{Н}$$

По формуле (3) определим момента зажима с учётом того, что максимальный вылет прижима составляет 200мм:

$$M_s = 147 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 29,4\text{Нм}$$

По полученному значению определяем из каталога тип применяемого зажима: V50.1 (рисунок 10).

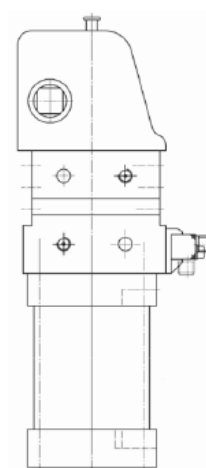


Рисунок 10 – Зажим с рычажным механизмом V50.1

Характеристики выбранного зажимного механизма: диаметр цилиндра 50мм; эффективный момент зажима 80Нм; вес 4,3 кг; расход воздуха 290 см³.

Для остальных захватов эффективного зажима в 80Нм достаточно для надёжного прижима. Количество применяемых зажимных механизмов равно количеству точек прижима – 16шт.

Для фиксирующего цилиндра расчёт усилий не требуется, поскольку он изготавливается по диаметру отверстия и служит для предотвращения поворота детали в плоскости прижима. Количество применяемых при сборке захвата фиксирующих цилиндров соответствует количеству фиксируемых отверстий – 2шт.

Технологический процесс сборки на рассматриваемом участке представляет собой соединение двух автодеталей, как показано на рисунке 1. Соединение деталей будет производиться непосредственно на проектируемой станции. Поскольку обе детали, установленные на станции, но ещё не сваренные, не имеют соединений друг с другом и может произойти смещение автодеталей друг относительно друга, необходимы дополнительные точки прижима. Основное назначение проектируемой станции, это позиционная точечная контактная сварка двух не соединённых автодеталей. В связи с этим применение EGT технологии будет ограничено несколькими элементами. Сама станция крепится на фланце 6-й оси робота и представляет собой столешницу с закреплёнными на ней зажимными механизмами и центрирующими цилиндрами. Столешница толщиной 30мм выполнена из алюминия и имеет технологические вырезы, для уменьшения веса. Для точного позиционирования станции в пространстве предусмотрены специальные позиционирующие платы различной формы, для стыковки с ответной частью [20].

На рисунке 11 представлен внешний вид столешницы с просверленными отверстиями для установки зажимов с установленным пневмоузлом и рым болтами для транспортировки:

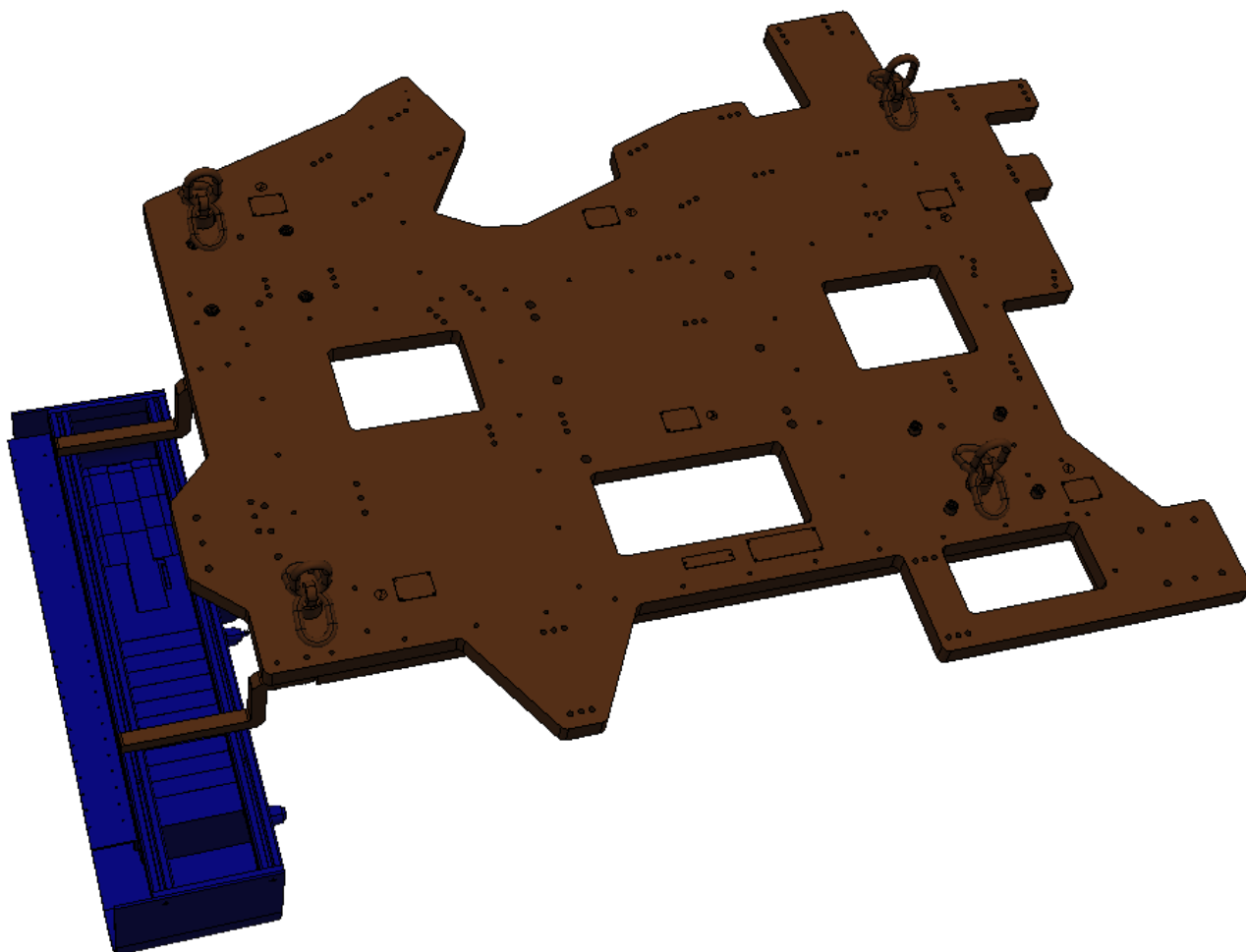
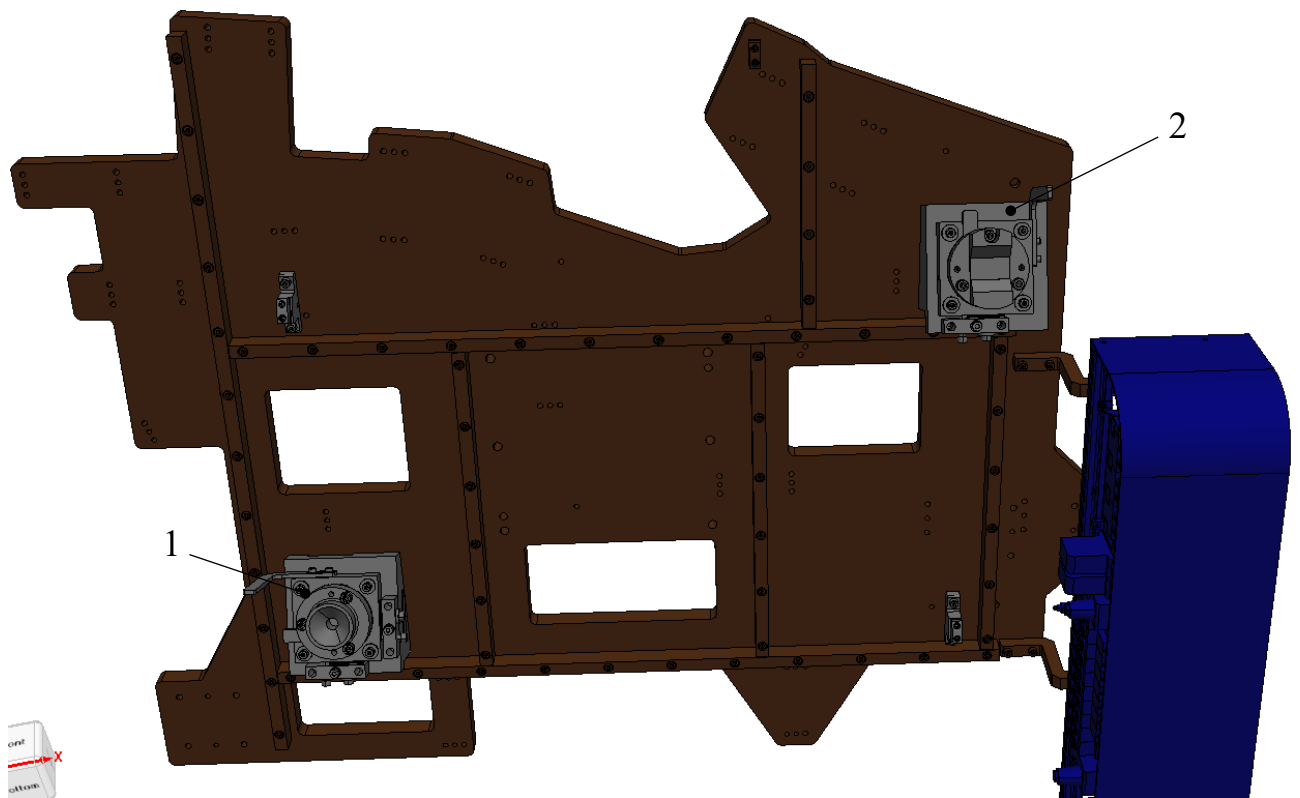


Рисунок 11 – Столешница позиционирующей станции для точечной контактной сварки

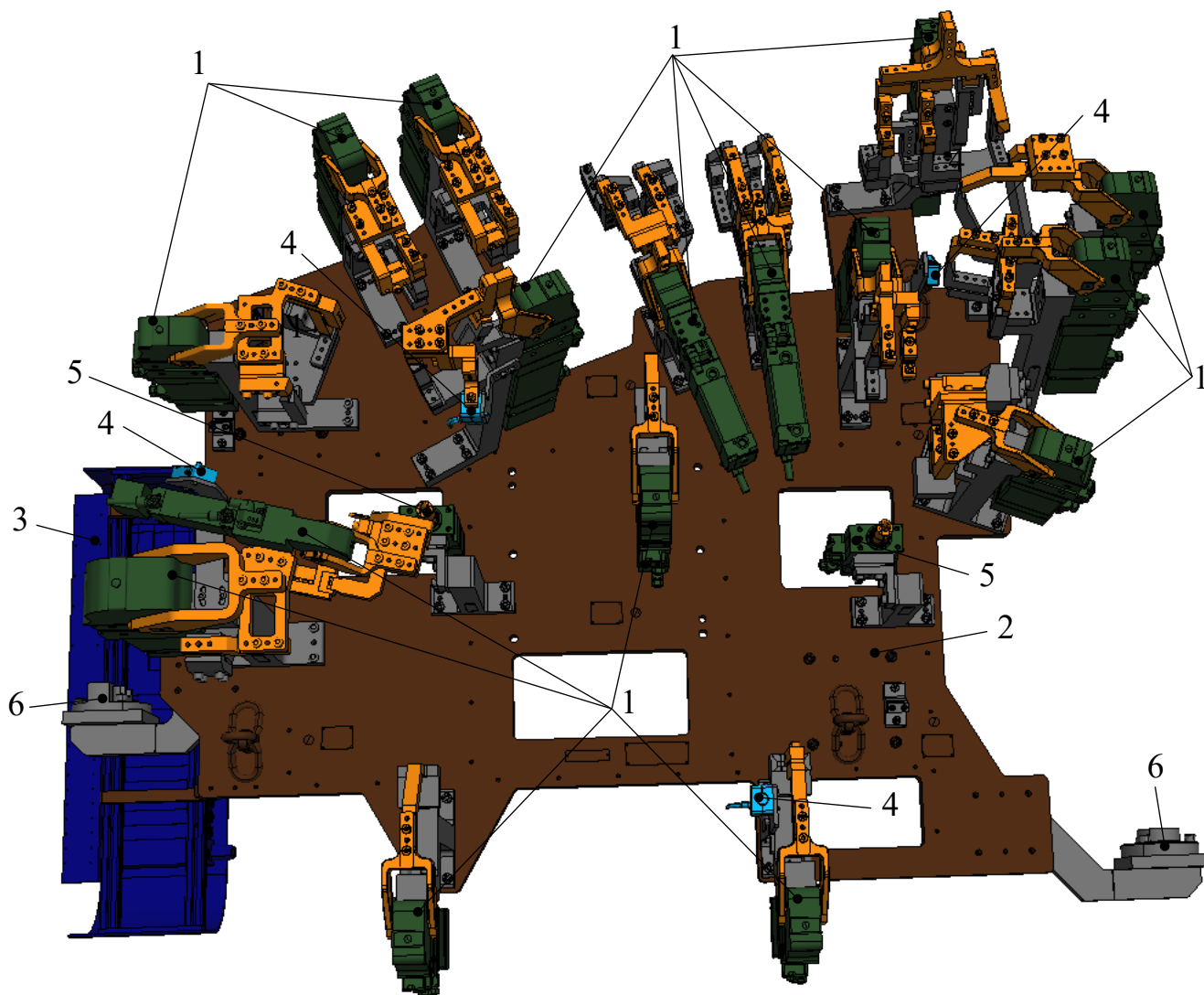
На рисунке 12 представлен вид столешницы с обратной стороны с установленными позиционирующими платами.



- 1 – плата, выполненная в форме конуса, для исключения смещения в плоскости ХУ;
 2 – плата в виде параллелепипеда для исключения поворота столешницы;

Рисунок 12 – Столешница позиционирующей станции с обратной стороны

Законченный вариант проектируемой столешницы содержит 16 зажимных механизмов, четыре датчика присутствия (по два датчика на каждую устанавливаемую автодеталь), позиционирующие цилиндры для каждой из автодетали и дополнительные центрирующие платы сбоку для исключения смещения наклона в процессе установки. На рисунке 13 представлена проектируемая станция:



1 – Зажимные клапаны; 2 – Столешница для фланца 6-й оси робота; 3 – Пневмоблок;
 4 – Датчики присутствия детали; 5 – Позиционирующие цилиндры; 6 – Вспомогательные
 позиционирующие платы с боков столешницы;

Рисунок 13 – Позиционирующая станция для контактной сварки
 (закрытое положение)

Проверка корректного дизайна станции осуществлялась в открытом положении станции с установленными автодетальюми. Критерий оценки были следующими:

- автодетали (основная сборка + новая) свободно могут быть установлены в станцию без столкновений с открытым положением столешницы;

- положение позиционирующих цилиндров не мешает установки автодетали;

- после завершения процесса сварки сборка может быть свободно снята со станции без столкновений;

- в процессе сварки никакие элементы конструкции станции не мешают сварочным клещам произвести сварку в обозначенных местах;

- при закрытии зажимных механизмов не происходит столкновений с автодеталью или захватными устройствами других роботов;

- учтено, что при снятии автодетали позиционирующие цилиндры будут выдвинуты и необходимо приподнять автодеталь над ними не менее чем на 30мм;

- расстояние между элементами позиционирующей станции и захватными устройствами других роботов во всех позициях должно быть не менее 10мм;

Аналогичным образом необходимо спроектировать захватное устройство для робота 5082R01 G. В отличие от центрирующей станции простое захватное устройство не требует дополнительных элементов для фиксации автодеталей после окончания процесса сварки. В связи с этим нет необходимости удерживать сразу две автодетали в определённом положении. Это позволит существенно уменьшить количество точек прижима, а отсутствие необходимости в жёсткой фиксации автодетали позволяет исключить позиционирующие платы. Тем самым для проектирования простого захватного устройства можно использовать стандарт EGT и набор соответствующих компонентов.

На рисунке 14 представлен внешний вид спроектированного захватного устройства для робота 5082R01 G с автодеталью (а) и без автодетали (б).

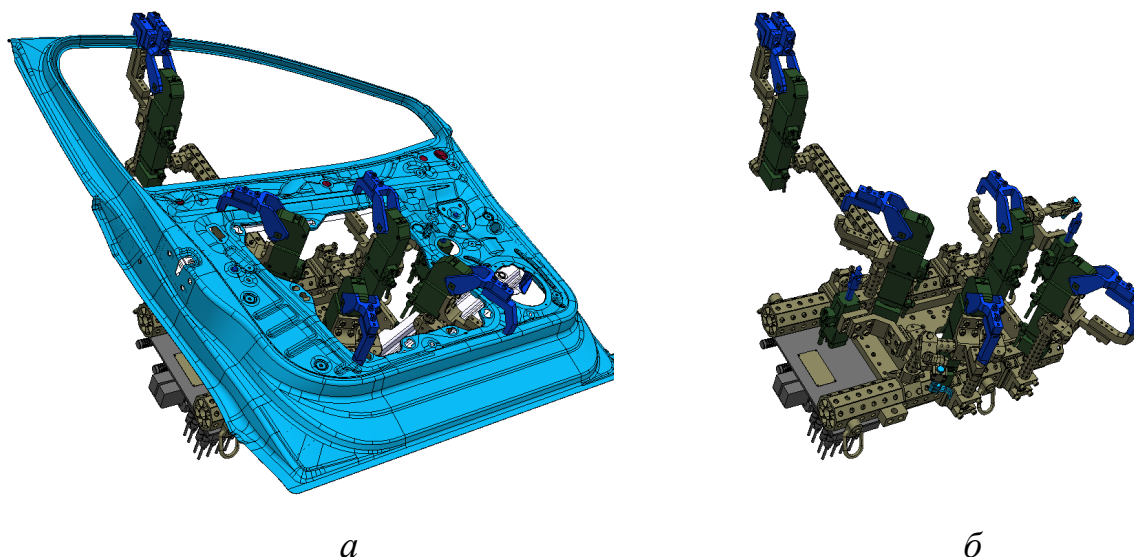


Рисунок 14 – Захватное устройство для транспортировки автодетали для робота 5082R01 G

2.2 Выбор типа робота транспортных роботов

Проектируемый рабочий участок сборочного цеха содержит два промышленных робота, которые выполняют операцию транспортировки автодетали. Роботы 5079R01 G и 5082R01 G оснащены захватными устройствами. Разница между ними заключается только в том, что робот 5079R01 G выступает в роли позиционирующей станции для сварки двух не соединённых автодеталей, а робот 5082R01 G имеет простое захватное устройство для транспортировки автодетали. Рассмотрим выбор типа робота 5079R01 G для позиционирующей станции.

По завершению проектирования модели центрирующей станции стало возможным рассчитать конструктивные параметры (вес, центр масс, момент инерции). Общий вес проектируемого устройства составляет 351,543кг с учётом автодетали. К расчётному значению веса необходимо прибавить вес дополнительного оборудования для транспортировки (кабели, шланги и т.д.),

вес плат для быстрой и автоматической замены столешницы в случае смены типа автодетали, всего 46кг. Итоговый вес составляет 397кг.

Расчёт нагрузки проводился в специализированном программном обеспечении KUKA.Load_V5.0.25. Поскольку изначальный вес позиционирующей станции около 400кг, то средние и малые роботы грузоподъёмностью до 400кг не подойдут для этой операции [21]. Основные критерии подбора робота следующие:

- нагрузка на все оси робота не должна превышать 90% от максимальной нагрузки;

- длины робота должно быть достаточно, чтобы обеспечить достижимость до всех требуемых условиями технологического процесса устройств;

Как видно из критериев выбора робот должен быть в состоянии переносить позиционирующую станцию и должен быть способен дотянуться до всех устройств, с которыми он взаимодействует. Ближайшие роботы теоретически удовлетворяющие поставленным критериям это тяжёлые роботы серии KR420 с вылетом руки R3080 и KR500 и вылетом руки R2830. Произведём расчёт и сравнительный анализ роботов для определения подходящего.

Для этого внесём программу параметры центрирующей станции, полученные в ходе проектирования. На рисунке 15 представлено сравнение статической нагрузки на оси выбранных роботов:

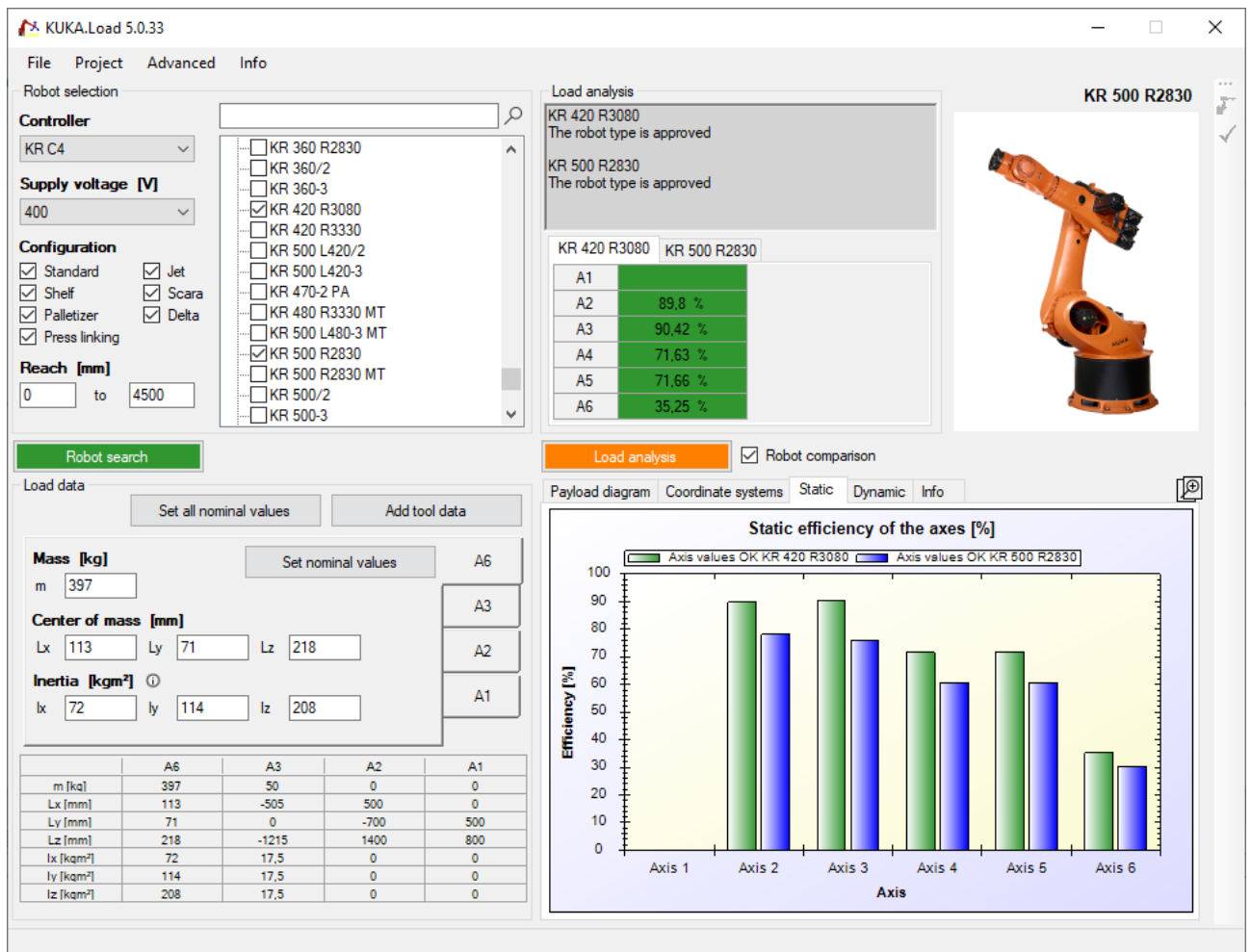


Рисунок 15 – Сравнение статической нагрузки на оси роботов KR420R3080 и KR500R2830

Из расчёта программы видно, что робот грузоподъёмностью 420кг имеет 3-ей оси нагрузку более 90% и поэтому не может быть использован. В тоже время робот KR500 имеет максимальную нагрузку на 2-ю ось 78%. Выбор тяжёлого робота повлияет на скорость его движения и соответственно на цикл выполняемых операций, в связи с этим дополнительно необходимо проверить робота на цикличность по времени.

Для тяжёлых роботов диаметр фланца 6-й оси составляет 160мм (рисунок 16):

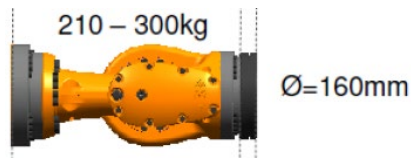


Рисунок 16 – Диаметр фланца 6-й оси робота

Данное значение фланца робота будет использоваться в дальнейшем при проектировании узла крепления захватного устройства к фланцу робота [22].

Аналогичным образом произведём расчёт для транспортировочного робота 5082R01 G. На основании спроектированного захватного устройства получим основные параметры захвата (вес, центр масс, момент инерции). Затем необходимо подобрать робот, способный поднять и транспортировать захватное устройство с автодеталью. На рисунке 17 представлен результат расчёта нагрузки на оси робота для проектируемого захватного устройства.

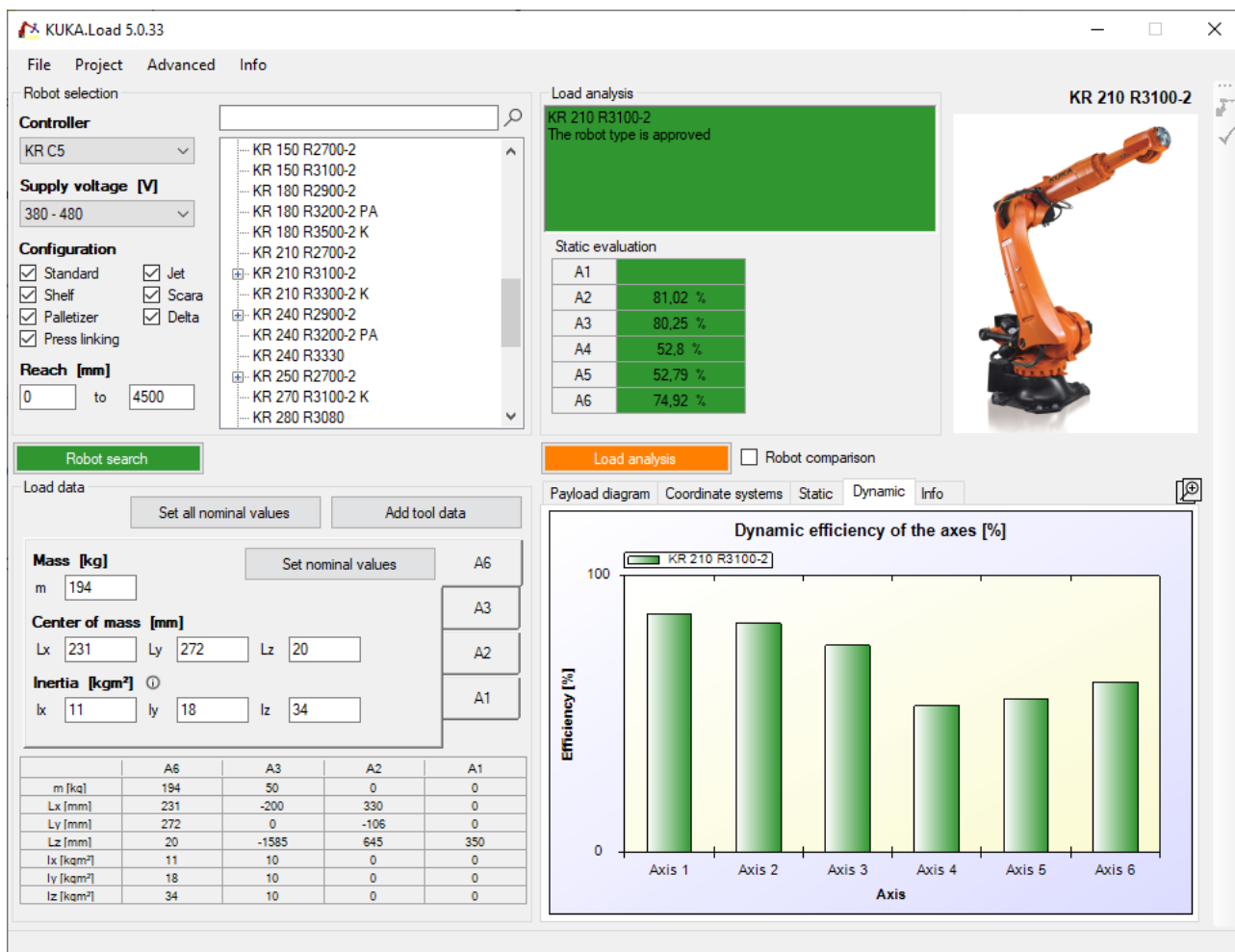


Рисунок 17 – Расчёт нагрузки на оси робота

В результате расчёта для транспортировки автодетали роботом 5082R01 G был выбран средний робот KR210 с вылетом руки 3100мм.

2.3 Определение типа сварочных роботов

Для определения типа сварочных роботов необходимо также произвести расчёт нагрузки, только вместо информации о захватном устройстве будет применяться информация о сварочных пистолетах. Подробное описание выбора сварочных пистолетов рассмотрено в разделе 3. Основываясь на документации сварочного пистолета заполним данные для расчёта нагрузки:

вес пистолета 119кг; вес дополнительного сварочного оборудования 18кг (кабель, охлаждение, управление и т.д.); вес оборудования для обеспечения автоматической смены инструмента 46кг; итоговый вес составляет 183кг. На рисунке 18 представлен расчёт нагрузки для робота 5080R01 Z.

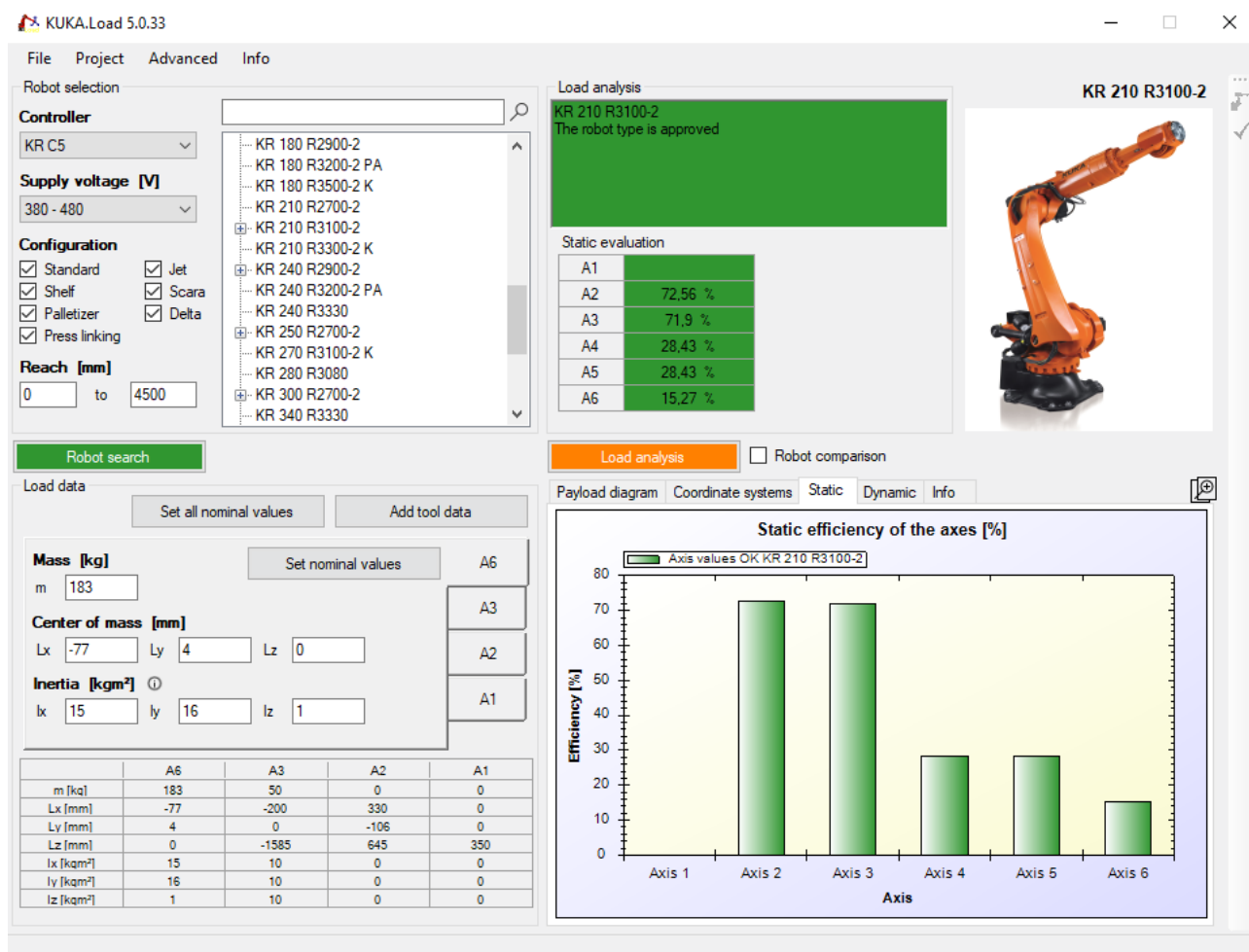
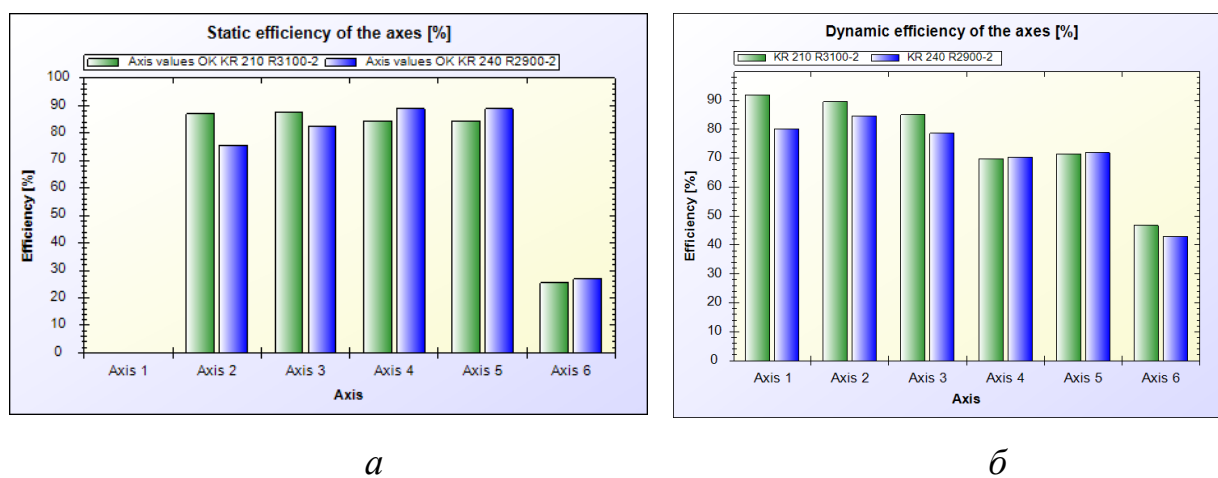


Рисунок 18 – Расчёт нагрузки на сварочный робот 5080R01 Z

На рисунке 19 представлен расчёт нагрузки на роботов 5080R02 Z и 5080R03 Z. Для роботов 2 и 3 необходимо произвести сравнительный анализ двух вариантов роботов: KR210 R3100 и KR240 R2900. Первый вариант с меньшей грузоподъёмностью, но большей достижимостью, второй вариант с

уменьшенным вылетом руки (2900мм вместо 3100мм), но с повышенной грузоподъёмностью.



a – статическая нагрузка;
б – динамическая нагрузка;

Рисунок 19 – Сравнение расчётной нагрузки на оси роботов

Из расчёта видно, что в статическом режиме наибольшая нагрузка на 210-й робот приходится на 2-ю и 3-ю оси, а для 240 робота на 4-ю и 5-ю оси. Однако значения по осям не превышает 90% и находится в пределах 85-88%. Для динамического режима работы результат совсем иной: робот 210 испытывает нагрузку 91,94% по 1-й оси и не может использоваться для точечной контактной сварки выбранным пистолетом.

В результате расчёта для процесса точечной контактной сварки были выбраны следующие роботы:

- 5080R01 Z: KR210 R3100ultra
- 5080R02 Z: KR240 R2900ultra
- 5080R03 Z: KR240 R2900ultra

2.4 Характеристика движения робота

Для программирования движения робота применяется ряд правил, позволяющих экономить ресурсы контроллера и время движения робота:

- разделение движений на процессное и промежуточное. Процессное движение характеризуется пониженной скоростью движения и повышенной точностью движения, применяется для более точного позиционирования. Промежуточное движение характеризуется высокой степенью аппроксимации движения, это позволяет экономить время движения и увеличить скорость движения [23].

- характер движения: простое перемещение от точки к точке, линейное движение и круговое движение. Простое перемещение характеризуется максимальной скоростью и минимальной точностью движения, при этом задействованы только те оси робота, которые необходимы для перемещения. Применяется для промежуточного движения, ограничений нет. Линейное движение характеризуется пониженной скоростью и в ходе движения задействованы все оси робота для обеспечения прямолинейного движения. Применяется в процессном движении имеется ограничение по 5-й оси [24].

Ограничение линейного движения робота по 5-й оси связано с тем, 4-я и 6-я оси робота находятся на одной прямой в случае, когда 5-я ось робота находится в нулевом положении, рисунок 20.

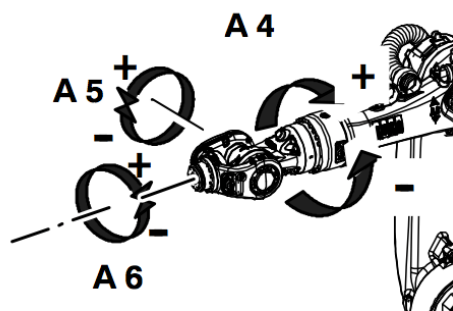


Рисунок 20 – Направление вращения 4-й и 6-й осей робота

Как видно из рисунка оси вращения у А4 и А6 совпадают, а значит, когда ось А5 робота находится в положении 0° , оси А4 и А6 становятся идентичными. Для контроллера это означает невозможность вычислить какую ось необходимо повернуть, чтобы достигнуть требуемой траектории. Если во всех других вариантах контроллер может вычислить единственное положение всех 6-и осей в любой момент времени, то в описанном ранее случае для осей 4 и 6 существует бесконечное множество решений поворотов. Это приводит к сбою контроллера, и робот останавливается в целях безопасности. Данное явление носит название сингулярность. Единственная возможность противостоять явлению сингулярности состоит в том, чтобы избегать при линейном движении положения робота, при котором его ось А5 будет приближаться к нулю. Таким образом производителем промышленных роботов установлено правило, что при линейном движении робота запас по 5-й оси должен составлять не менее $\pm 10^{\circ}$ в обе стороны [25].

2.5 Вспомогательная ось

Согласно рабочему циклу, робот 5082R01 G должен снять автодеталь с центрирующей станции после окончания процесса сварки, затем сделать доварку трёх точек, после чего установить автодеталь на потолочный конвейер для передачи сборки на следующий этап. В силу того, что оборудование для проведения всех описанных операций габаритное, нет возможности расположить робота таким образом, чтобы он дотянулся до каждой единицы оборудования. Для того чтобы увеличить рабочую зону робота необходимо обеспечить робота дополнительной степенью подвижности. Для реализации 7-й оси робота используется рельс с кареткой определённой длины. На рисунке 21 представлена 7-я ось робота в виде рельса с кареткой и кабеле-проводящим каналом.

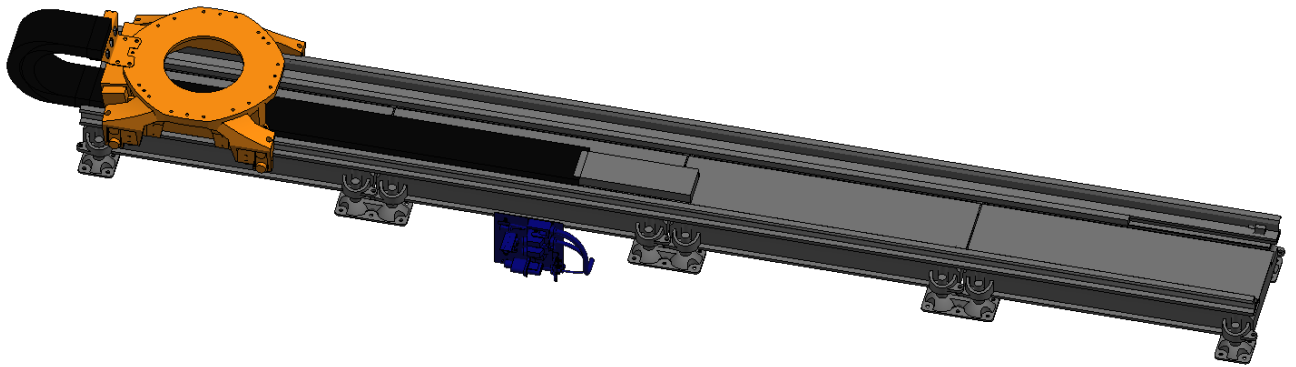


Рисунок 21 – 7-я ось робота

7-я ось робота программируется как дополнительное внешнее устройство и имеет ряд критериев для подбора:

- длина 7-й оси робота;
- направление движения, в зависимости от того, как установлена 7-я ось, положительное и отрицательное направления могут быть направлены в разные стороны;
- направление установки робота. По своим физическим особенностям не все промышленные роботы могут совершать полный поворот вокруг 1-й оси на 360 градусов. В зависимости от типа робота пределы вращения ограничены в пределах от -185 до 185 градусов. Поэтому робот может произвести разворот на только в одну сторону.

Имеет несколько типов кареток, для установки лёгких, средних, тяжёлых или сверхтяжёлых роботов, а также возможность монтажа кабелепроводящего канала с левой, с правой стороны или по центру (как на рисунке). Также в случае необходимости каретка может быть оснащена дополнительной консолью с шагом в 100мм.

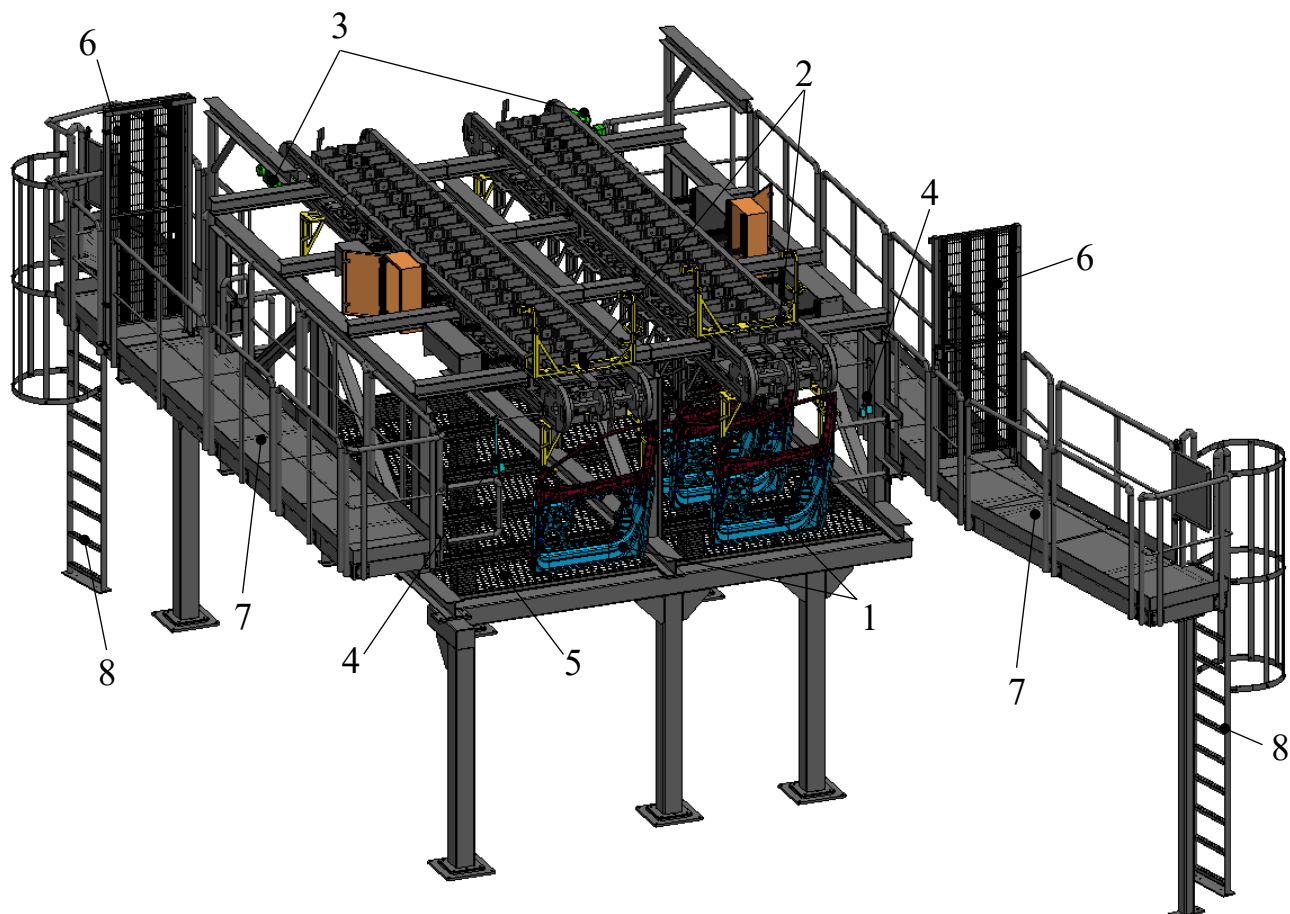
В процессе исследования для рассматриваемого робота с процессом транспортировки, сварки в стационарном пистолете и установки автодетали на потолочный конвейер, была установлена длина 7-й оси равная 8 метров. При этом рабочая область перемещения по оси составляет 6900мм [26].

2.6 Конвейер

Конвейер представляет собой металлоконструкцию состоящую из подвижной ленты с паллетами для позиционирования автодеталей и огораживающие конструкции для защиты обслуживающего персонала.

Завес автодетали на паллету осуществляется с помощью захватного устройства, установленного на торце 6-й оси робота 5082R01 G. Модель потолочного конвейера в целях унификации используется общая на всю сборочную линию. Возможны отличия в конструкции паллет и длины конвейера, соответственно и монтажных колонн, однако металлоконструкция, защитные ограждения, приводы и подвижные ленты остаются одинаковыми. По правилам проекта допускаются минимальные зазоры между захватным устройством и конструкцией конвейера не менее 10мм [27].

На рисунке 22 представлен внешний вид потолочного конвейера для робота 5082R01 G с завешенными автодетальями.



1 – Положение автодетали в паллете; 2 – Паллета; 3 – Привод конвейера;
 4 – Датчик обнаружения автодетали; 5 – Защитная сетка; 6 – защитное ограждение;
 7 – дорожка обслуживания; 8 – лестница

Рисунок 22 – Конвейер с металлоконструкцией

Конструкция паллеты поддерживает деталь в двух точках, имеет два упора и направляющую. Рёбра жёсткости позволяют выдержать вес автодетали, но при этом имеют минимальный размер позволяющий завесить и снять автодеталь с паллеты. Снятие и завес автодетали производится с учётом захватывающего устройства, закреплённого на фланце робота. Положение фиксирующих элементов автодетали в паллете представлено на рисунке 23

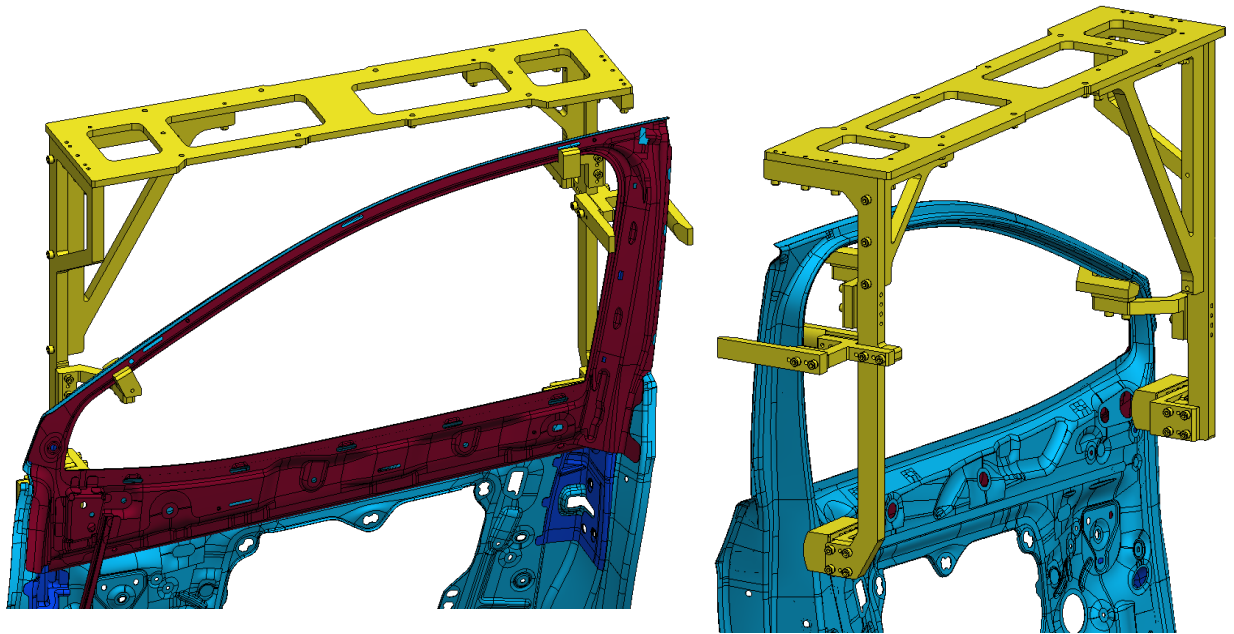


Рисунок 23 – Положение автодетали в паллете

Высота автодетали в конвейере обусловлена техникой безопасности и габаритными размерами цеха. Для проектируемого участка цеха высота от пола до нижней кромки детали в конвейере составляет 2600мм (рисунок 24).

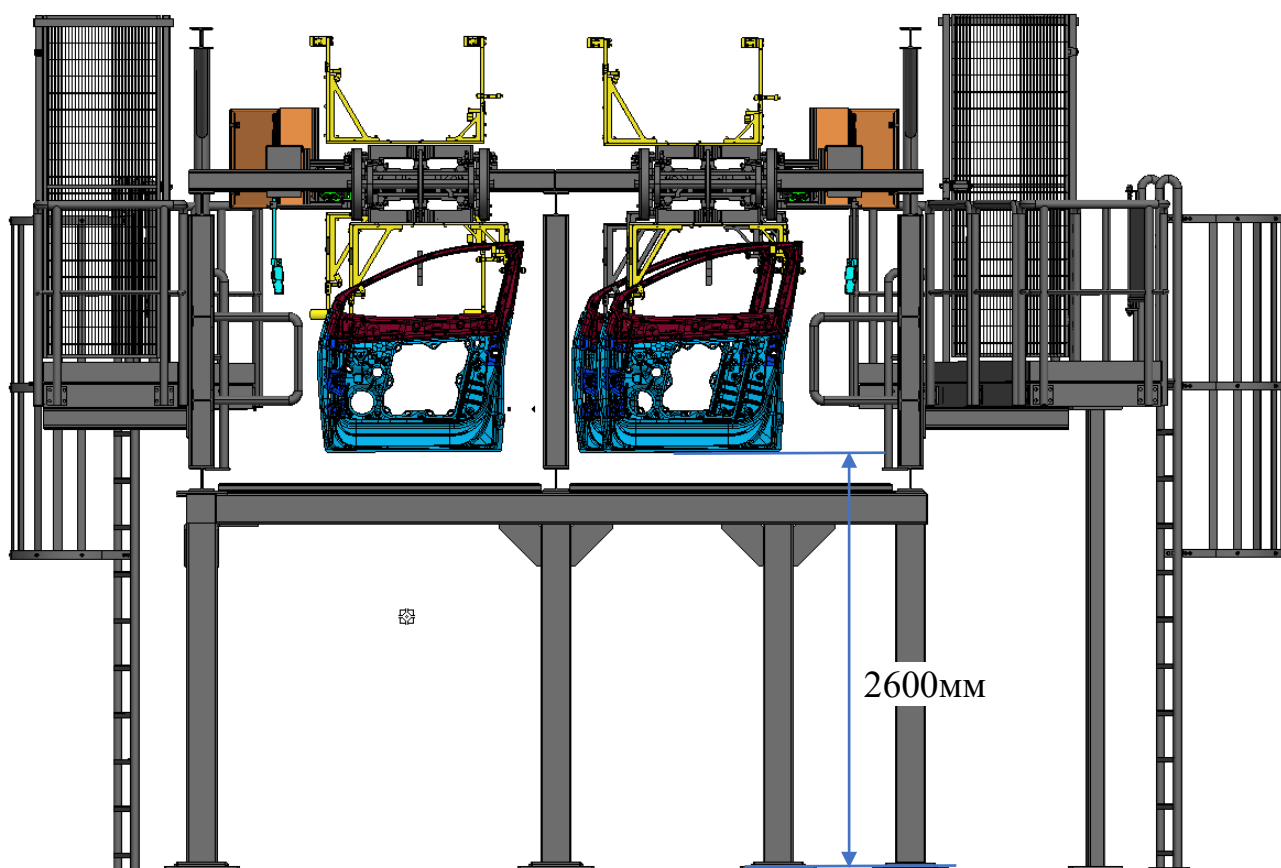


Рисунок 24 – Высота автодетали в конвейере

Робот, который будет взаимодействовать с потолочным конвейером имеет длину руки 3100мм. Это позволит роботу без дополнительной консоли установить деталь на паллету.

В результате проектирования и расчёта захватного устройства для транспортировки автодетали промышленным роботом определен тип пневматического зажима и положения для позиционирующих цилиндров. Была спроектирована позиционирующая станция для параллельной сварки автодетали. На основании спроектированной модели захватного устройства проведён расчёт грузоподъёмности промышленного робота. Спроектирована позиционирующая паллета для фиксации автодетали на конвейере [28].

3 Стационарная сварка

В процессе проектирования рабочего участка сборочного цеха применяются элементы оборудования двух типов: стандартные элементы (покупные) и не стандартные элементы (проектируемые). Стандартные элементы представляют собой объект габаритные размеры и функционал которого заранее известны и могут быть использованы для осуществления процесса сборки без адаптаций, модификаций или каких-либо изменений. Проектируемые элементы зависят от технологического процесса сборки и геометрии конкретной автодетали. Поскольку автопроизводители стремятся сделать свой автомобиль уникальным, особенным и не похожим на остальные, как с точки зрения функциональных возможностей, так и с точки зрения внешнего вида, поэтому большая часть автодеталей, даже в пределах одного «семейства» автомобилей имеет существенные или не существенные отличия в конструкции и геометрии автодеталей. Эти изменения приводят к тому, что становится не возможным применение универсального оборудования для сборки разных кузовных элементов автомобилей и требуется проектирование для каждого узла и элемента конструкции автомобилей своих приспособлений и оснастки.

К стандартному оборудованию можно отнести: стационарный сварочный пистолет, консоль сварочного пистолета, клеевую стойку с клеевым пистолетом, вспомогательное оборудование для обслуживания сварочного пистолета и клеевой стойки (заточка, замена колпачков, клеевые насосы и держатели).

К не стандартному оборудованию можно отнести захватные устройства для транспортировки автодеталей, позиционирующие станции для различных процессов (сварки, загибки, заклёпки, клея и т.д.).

3.1 Стандартное оборудование

Для точечной контактной сварки применяются стандартные сварочные пистолеты. Подбор сварочного пистолета осуществляется на основании критериев:

- сварочный пистолет должен обеспечить точечную контактную сварку автодеталей в заданных точках без столкновений с автодеталью или иным оборудованием;

- положение осей робота не должно выходить за пределы, установленные правилами;

- отсутствие эффекта сингулярности;

- нагрузка на любую ось робота не должна превышать 90% от максимальной нагрузки;

- усилие сжатия сварочных пистолетов должно быть не меньше заданного для каждой сварочной точки (выбирается по максимальному значению);

- диаметр сварочного пятна в месте контакта должен соответствовать стандарту и иметь значение, соответствующее каждой сварочной точке;

- главным приоритетом в процессе подбора сварочных пистолетов обладает библиотека стандартных компонентов. В случае, если ни один сварочный пистолет из каталога стандартной библиотеки не удовлетворяет хотя бы одному условию сварки, то необходимо спроектировать новую геометрию губок сварочного пистолета.

3.1.1 Сварочный пистолет для 5080R01 Z

Подбор сварочного пистолета для робота необходимо начинать с анализа распределения точек по автодетали для выбранного робота. На

рисунке 25 представлено распределение сварочных точек для выбранного робота. По циклу робот должен сварить 4-е точки.

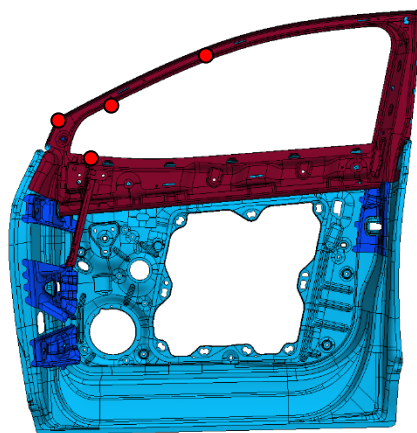


Рисунок 25 – Распределение сварочных точек для робота 5080R01 Z

Правильность подбора сварочных клещей определяется сечением сварочного пистолета с автодеталью в точках контакта. Отсутствие столкновений сварочного пистолета и автодетали в сечении обеспечивает возможность сварки без столкновений, но подвод и отвод инструмента без столкновений в рабочую область проверяется отдельно. После рассмотрения ряда сварочных пистолетов методом подбора, выбор был остановлен на пистолете типа С с прижимным усилием 5100Н, рисунок 26.

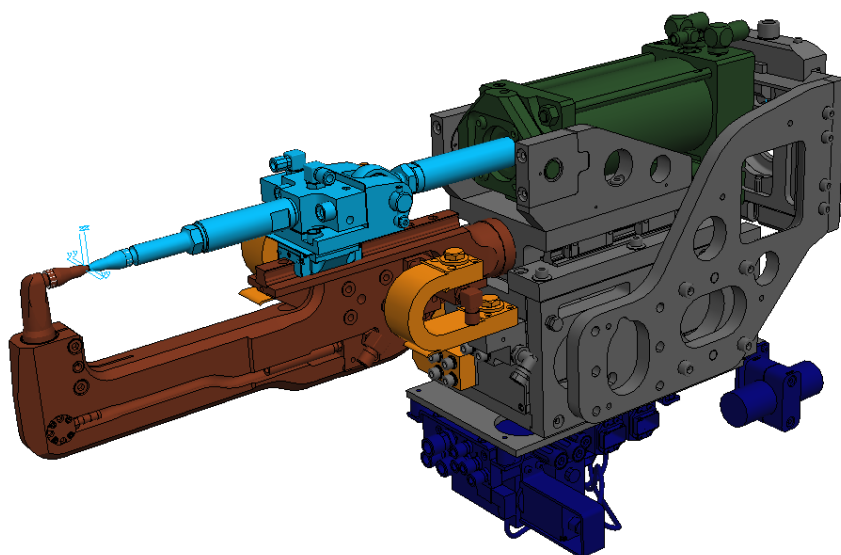


Рисунок 26 – Сварочный пистолет для робота 5080R01 Z

На рисунке 27 представлено сечение сварочного пистолета в точках контакта с поверхностью автодетали. Для удобства просмотра все точки объединены в одной точке.

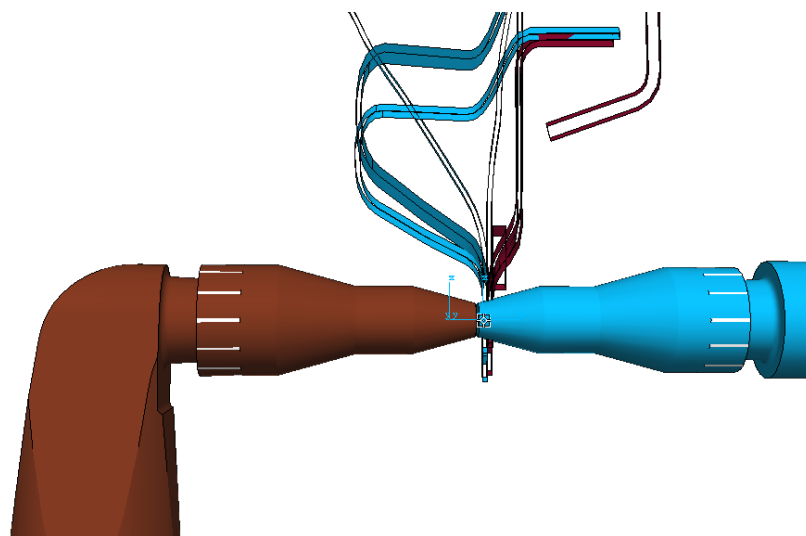


Рисунок 27 – Сечение точек контакта сварочного пистолета и автодетали

После подбора сварочного пистолета, удовлетворяющего геометрии свариваемых точек, необходимо удостовериться, что прижимного усилия пистолета будет достаточно, для обеспечения необходимого качества

сварочного пятна. Согласно документации, на выбранный пистолет, прижимное усилие составляет 5100Н, из 4-х сварочных точек максимальное усилие сжатия 4700Н. Таким образом, выбранный пистолет удовлетворяет условиям геометрии свариваемых автодеталей, обеспечивает требуемое усилие сжатия, расчёт нагрузки на оси робота представлен в разделе 2 и составляет 72%, диаметр колпачков пистолета 16мм.

3.1.2 Сварочный пистолет для 5080R02 Z

Распределение сварочных точек для 2-ого робота представлено на рисунке 28, всего за время одного цикла робот должен сварить 5 точек.

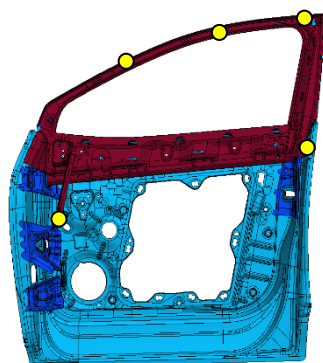


Рисунок 28 – Распределение точек сварки для 5080R02 Z

Сварочный пистолет, удовлетворяющий условиям геометрии автодетали и усилия прижима в точке контакта представлен на рисунке 29.

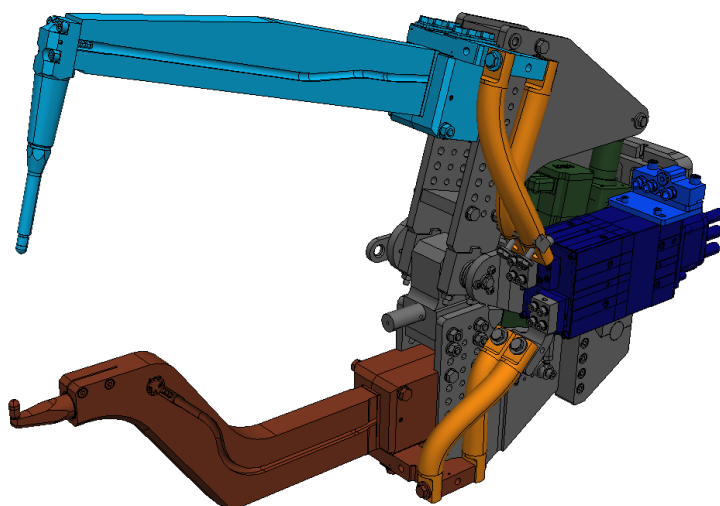


Рисунок 29 – Сварочный пистолет X типа для 5080R02 Z

Картина сечений для всех точек сварки представлена на рисунке 30.

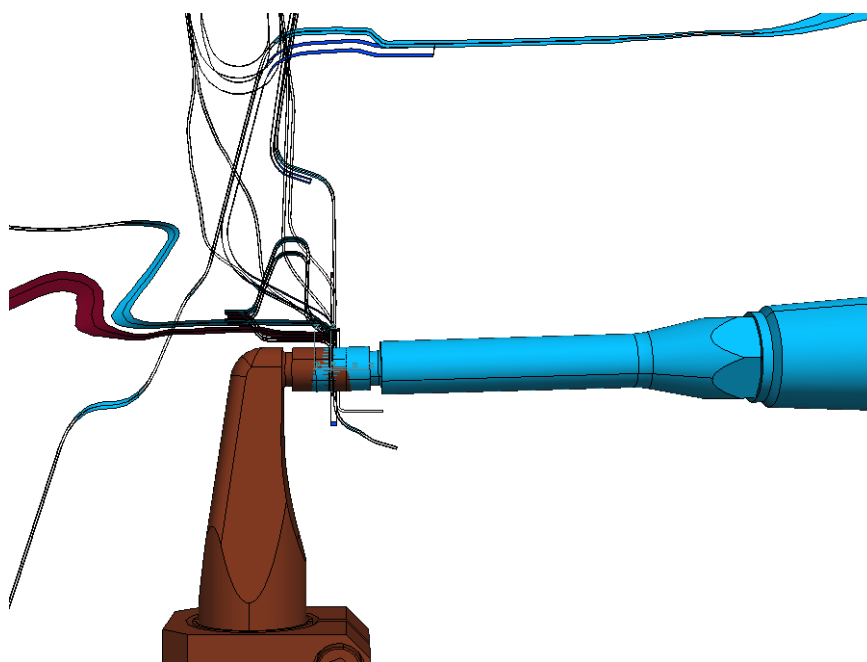


Рисунок 30 – Сечение в точках контакта пистолета и автодетали

Из рисунка видно, что контур автодетали и контур пистолета не пересекают друг друга, к тому же для нижнего электрода имеется пространство для отвода и подвода инструмента в рабочую область.

3.1.3 Сварочный пистолет для 5080R03 Z

Для 3-его робота на рисунка 31, 32 и 33 представлены распределение точек по автодетали, внешний вид подобранного пистолета и сечение в точках контакта автодетали и сварочного пистолета.

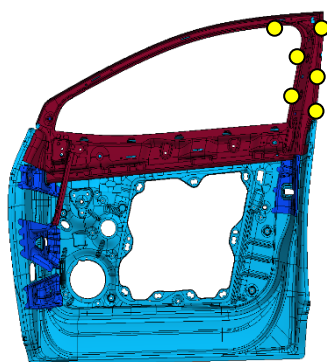


Рисунок 31 – Распределение сварочных точек по автодетали для робота 5080R03

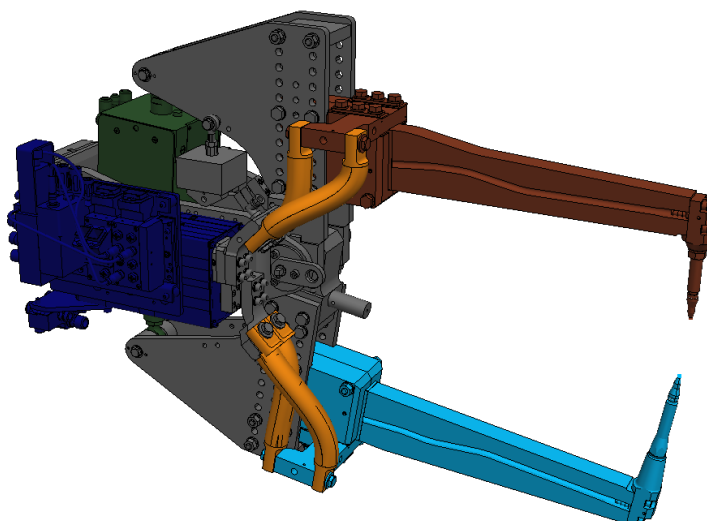


Рисунок 32 – Сварочный пистолет для робота 5080R03 тип X

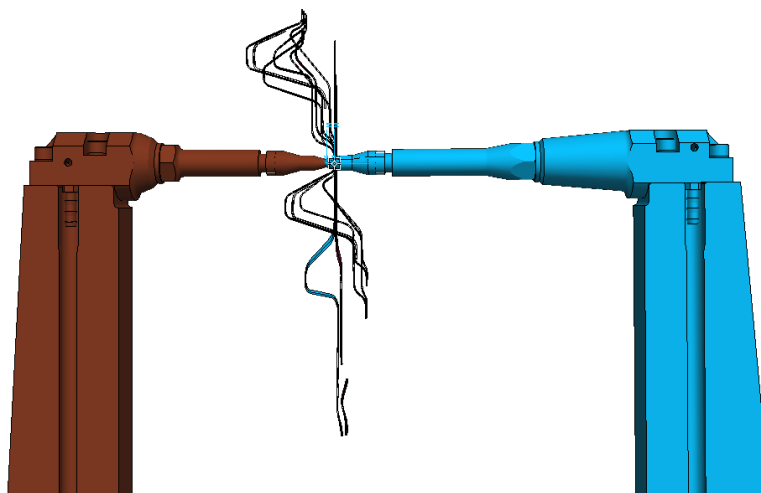


Рисунок 33 – Сечение точек контакта сварочного пистолета и автодетали

3.2 Конфигурация робота в процессе сварки

Следующий этап проектирования рабочего участка сборочного цеха, это проверка положения осей всех роботов в процессе сварки. Из 4-х роботов, которые участвуют в процессе сварки, один робот фиксирует автодеталь в станции, а три других робота производят точечную сварку. Ниже перечислены критерии оценки положения осей роботов:

- отсутствие сингулярности;
- запас для каждой оси должен быть не менее 10 градусов;
- в процессе сварки робот не должен засекать дополнительное оборудование на фланце 6-й оси робота.

Последний пункт критериев обоснован тем, что плата для автоматической смены инструмента больше габаритных размеров пистолета и высока вероятность столкновения с рукой робота. На рисунке 34 представлен внешний вид платы для автоматической смены инструмента, состоящая из роботной и инструментальной частей [28-29].

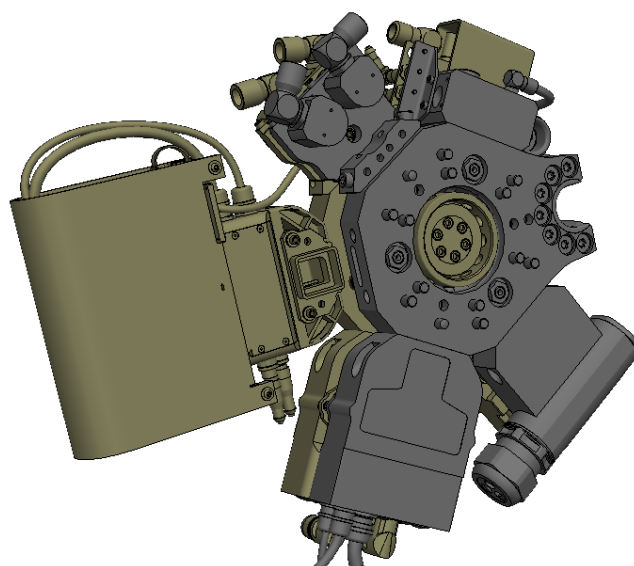


Рисунок 34 – Плата для автоматической смены инструмента

Для робота 5080R01 Z на рисунке 35 представлено положение сварки для всех 4-х точек. Как видно из рисунка три точки робот сваривает в направлении Z (б, в, г), в то время как одну точку в направлении Y (а):

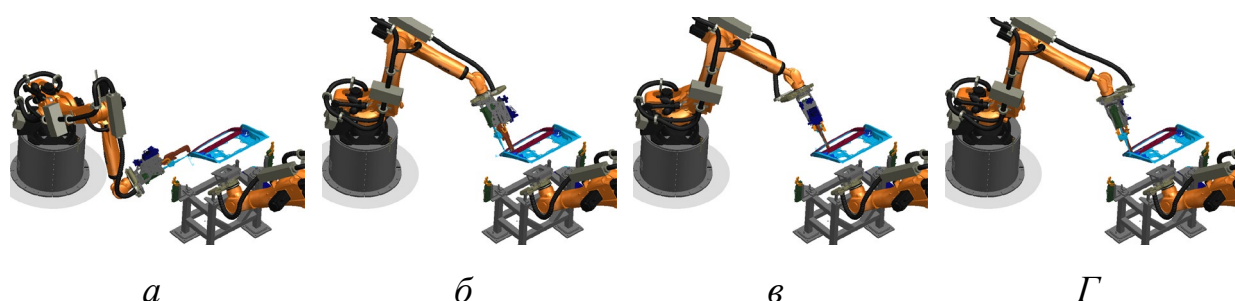


Рисунок 35 – Положение робота в процессе сварки

Для того, чтобы избежать складывание робота по 5-й оси и не допустить столкновения руки робота с платой в точке а, положение автодетали в процессе сварки было модифицировано. Текущее положение робота в точке а имеет значение 5-й оси 105 градусов, в то время как предельное значение по данной оси составляет 122,5 градуса. Таким образом робот имеет запас по 5-й оси в 17,5 градусов из них 10 градусов это минимальный запас, обусловленный

правилами проекта. Остаётся 7,5 градусов на то, чтобы осуществить заход/отвод инструмента на рабочую позицию. Данное ограничение необходимо учитывать при проектировании фиксирующей станции таким образом, чтобы робот в процессе подвода/отвода не складывался по 5-й оси больше чем на 7,5 градусов.

Для роботов 5080R02 и R03 сложных или проблемных мест в процессе сварки не обнаружено.

3.3 Обслуживание колпачков сварочного пистолета

В процессе точечной контактной сварки с течением времени происходит износ колпачков пистолета, что отражается на ширине сварочного пятна и на качестве сварки. Для устранения износа применяются два способа заточка колпачков и замена колпачков.

Заточка колпачков занимает малое количество времени и может вписываться в общее время цикла, однако, чем больше затачиваются колпачки, тем больше они стираются и рано или поздно требуется их полная замена.

Замена колпачков занимает длительное время (по сравнению с заточкой) и осуществляется один раз в смену, в зависимости от количества сварочных точек в цикле. Причём время затраченное на смену колпачков не входит в общее время цикла.

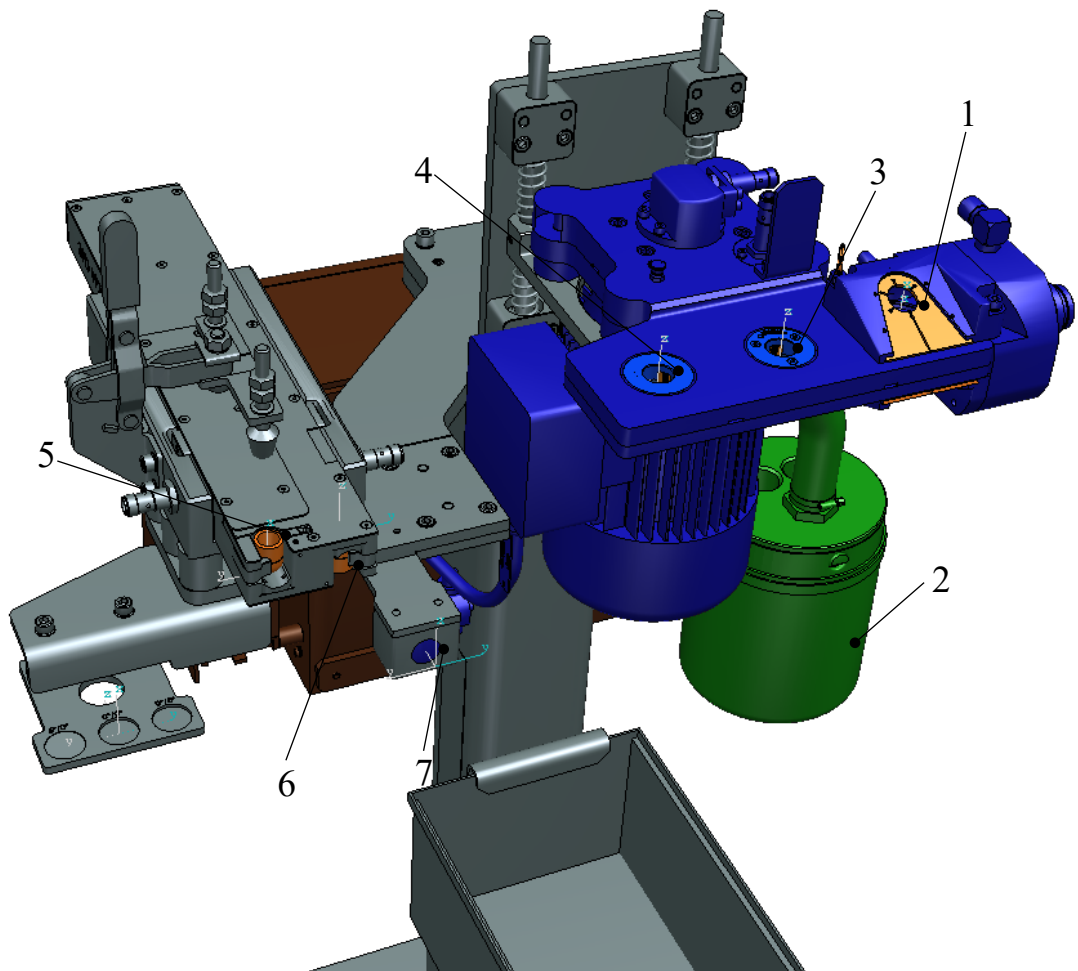
Подводя итог выше сказанного, каждый робот, который осуществляет точечную контактную сварку должен иметь в свободном доступе две единицы дополнительного оборудования для заточки и замены колпачков. Критерии компоновки оборудования следующие:

- каждый сварочный робот должен иметь возможность свободно и беспрепятственно подходить к устройству заточки колпачков в любое время общего цикла;

- все сварочные роботы должны одновременно (вне общего цикла) подходить каждый к своему устройству замены колпачков, при этом не мешая работе друг друга.

Автоматизированный процесс замены и заточки колпачков подразумевает участие в этом процессе обслуживающего персонала. Для устройства заточки колпачков отработанным продуктом является металлическая стружка, которая оседает в контейнер для сбора стружки. По мере заполнения контейнера обслуживающий персонал опустошает контейнер у каждого робота. Для устройства замены колпачков старые колпачки оседают в контейнере сбора колпачков, после чего обслуживающий персонал извлекает отработанные колпачки и добавляет новые в контейнер для установки колпачков.

На рисунке 36 представлено совмещённое устройство для заточки и замены колпачков для сварочного пистолета.



1 – фреза для заточки; 2 – контейнер сбора стружки; 3 – разъём снятия колпачка верхней «руки» пистолета; 4 – разъём снятия колпачка нижней «руки» пистолета; 5, 6 – новый колпачок для установки на верхнюю и нижнюю «руки» пистолета; 7 – датчик установки колпачка

Рисунок 36 – Совмещённое устройство для заточки и замены колпачков:

В результате анализа геометрии и материала проектируемого кузова автомобиля была определена геометрия электродов и тип сварочного пистолета. Также определены положения для заточки колпачков сварочных пистолетов.

4 Точечная контактная сварка в стационарном сварочном пистолете

После завершения основного процесса сварки в позиционирующей станции автодеталь забирает робот 5082R01 G и производит сварку трёх точек в стационарном сварочном пистолете. Робот 5082R01 установлен на 7-й оси, которая позволяет увеличить степень свободы робота, однако с учётом габаритов 7-й оси и каретки минимальная высота, на которой может стоять робот соответствует 689мм.

Данное значение высоты установки робота влияет и на высоту установки сварочного оборудования. Для начала рассмотрим распределение точек сварки на автодетали для робота 5082R01 G, рисунок 37.

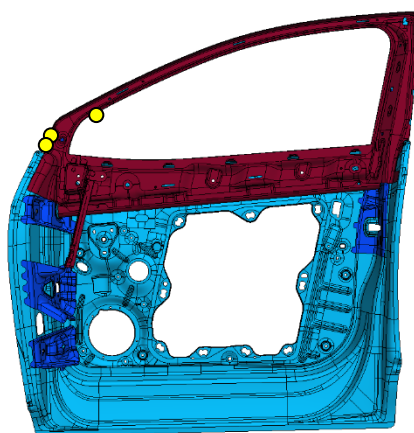


Рисунок 37 – Распределение сварочных точек по кузову автодетали для робота стационарной сварки робота 5082R01 G

Анализ распределения точек показал, что точки располагаются на краю автодетали и требуется сварочный пистолет С типа с низким профилем неподвижной «руки». Расчёт нагрузки не требуется. На рисунке 38 представлен внешний вид сварочного пистолета, подобранный для робота 5082R01 G:

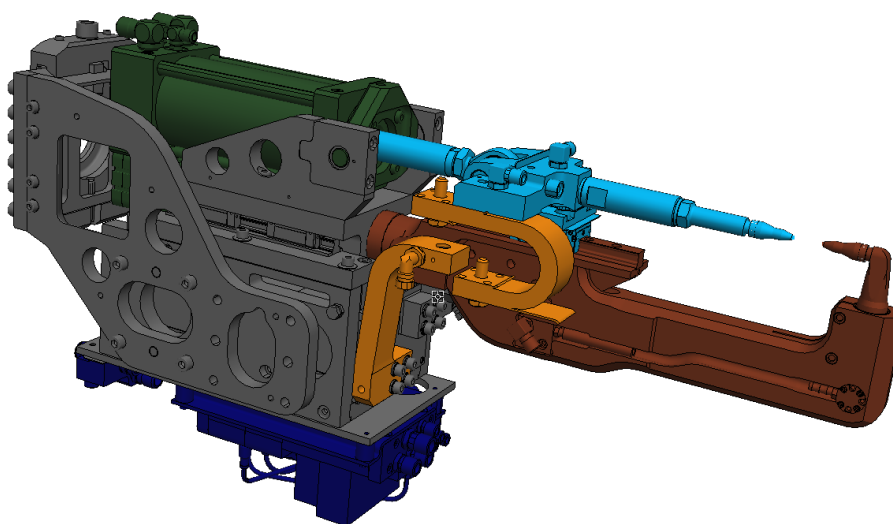


Рисунок 38 – Сварочный пистолет для стационарной сварки

Поскольку сварочный пистолет стационарный, то для выполнения сервисных операций по обслуживанию колпачков необходимо соответствующее устройство. Стационарное устройство заточки колпачков сварочного пистолета представляет собой закидной механизм, который в разложенном состоянии не мешает процессу сварки; в сложенном состоянии производит заточку колпачков.

После того как был определён тип сварочного пистолета необходимо определить высоту консоли и его ориентацию в пространстве. Основные критерии в этом случае:

- высота установки сварочного пистолета не выше 1,5м для удобства монтажа и обслуживания персоналом;
- запас для каждой оси робота в процессе сварки должен быть не менее 10 градусов;
- положение 5-й оси робота не должно находиться в пределах от -10 до +10 градусов при линейном движении.

В результате проектирования точечной контактной сварки в стационарном пистолете был определён тип, геометрия, усилие зажима и высота консоли установки пистолета.

5 Калибровка инструмента

Промышленные роботы позволяют создавать полностью автоматизированные рабочие участки при минимальном участии обслуживающего персонала. Правильная компоновка, профессиональное проектирование оборудования и корректное программирование гарантируют бесперебойное и чёткое взаимодействие всех элементов оборудования. Промышленный робот, как самый сложный элемент системы автоматизации в то же время является и наиболее гибким её элементом. Робот способен выполнять самые разные задачи, быстро подстраиваться под новый процесс и модифицировать существующий процесс. Любой процесс переналадки или первичное наладки промышленного робота на выполнение любого процесса начинается с калибрования всех подвижных механизмов как самого робота, так и всех инструментов (если их несколько). Как правило геометрия инструмента накладывает свою специфику на процесс калибрования, поскольку робот, перемещаясь в пространстве вычисляет траекторию движения по трём наборам координат: система координат робота, система координат инструмента и координаты в пространстве (точки, в которые робот должен прийти системой координат инструмента). За систему отчёта координат робота по умолчанию принята точка, расположенная в геометрическом центре монтажной платформы робота. Траектория движения робота будет рассчитываться между текущим положением системы координат инструмента и следующей точкой движения. Для сварочного пистолета система координат инструмента выбирается на неподвижной «руке» пистолета и находится на кончике колпачка, рисунок 39. Для захватного устройства выбирается наиболее удобный позиционирующий цилиндр при условии, что он не подвижен.

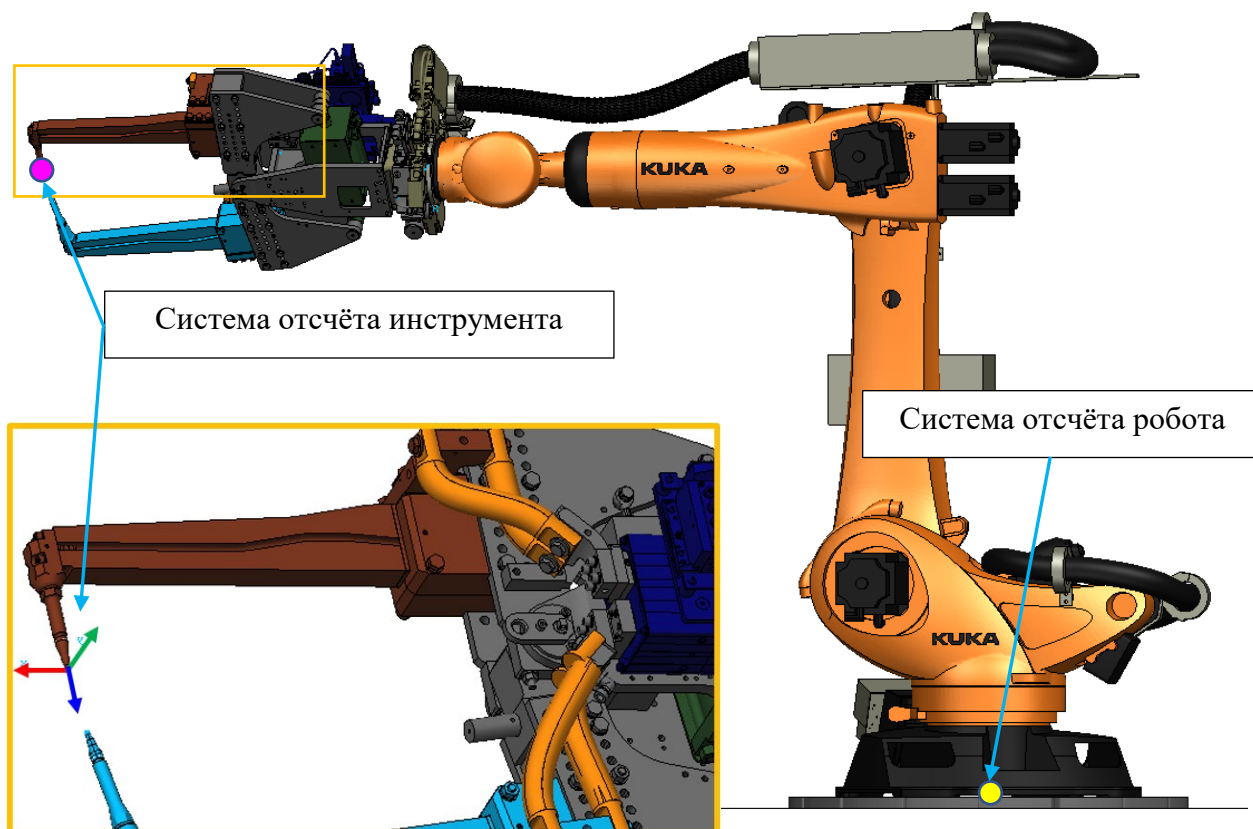


Рисунок 39 – Системы координат для расчёта траектории движения робота

В процессе программирования не возникает каких-либо проблем с определением систем координат, поскольку их легко можно обнаружить программными средствами. Однако, при наладке робота в цеху возможности отследить несуществующий элемент невозможно. Поэтому для того, чтобы выяснить, где именно у робота запрограммирована система координат инструмента и нет ли смещения или ошибки, предусмотрены специальные программы и устройства для калибровки инструмента.

Для сварочного пистолета инструмент калибровки представляет собой монтажную плату с гильзой на конце, рисунок 40. В ходе калибровки робот запускает специальную сервисную программу и должен неподвижным колпачком сварочного пистолета зайти в отверстие на гильзе [4, 5, 30].

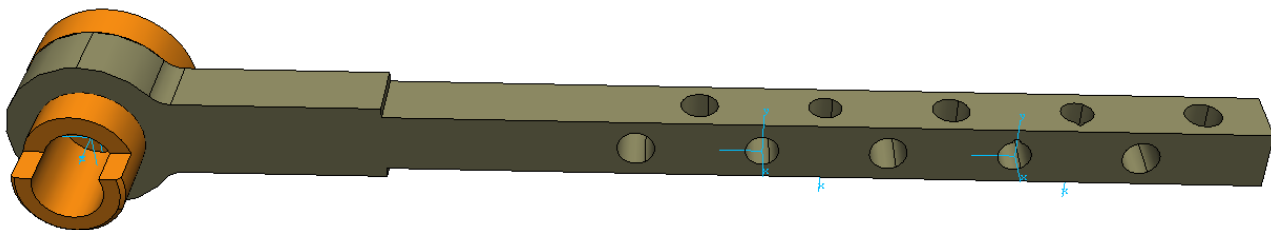


Рисунок 40 – Калибровочный инструмент для сварочного пистолета

Правилами проекта установлен приоритет мест для монтажа калибровочного инструмента:

- в первую очередь калибровочный инструмент следует монтировать на консоли робота для удобства и компактности расположения оборудования;
- во-вторую очередь калибровочный инструмент следует монтировать на любую поверхность позиционирующей станции если она не подвижна; в случае если рядом с роботом находится металлоконструкции, например конвейер, допускается монтировать калибровочный инструмент к ним;
- в третью очередь калибровочный инструмент можно монтировать на отдельно стоящую стойку, самый наихудший вариант.

Запрещено монтировать калибровочный инструмент на вспомогательное оборудование, такое как устройство распределения, система подачи воды, устройство снятия колпачков, устройство заточки колпачков и т.д.

Положение калибровочного инструмента для робота 5080R01 Z подобрано на консоли самого робота, рисунок 41, основными критериями подбора были пределы осей робота и отсутствие столкновений с окружающим оборудованием.

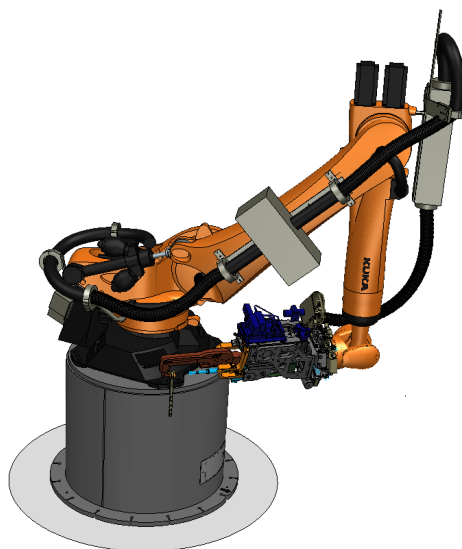


Рисунок 41 – Положение для калибровки сварочного пистолета робота 5080R01 Z

Робот 5080R02 Z не имеет рядом оборудования для монтажа калибровочного инструмента, при этом робот стоит на минимальной высоте, то есть робот установлен на консоль высотой 35мм. В связи с этим калибровочный инструмент был смонтирован на отдельно стоящей стойке, рисунок 42.

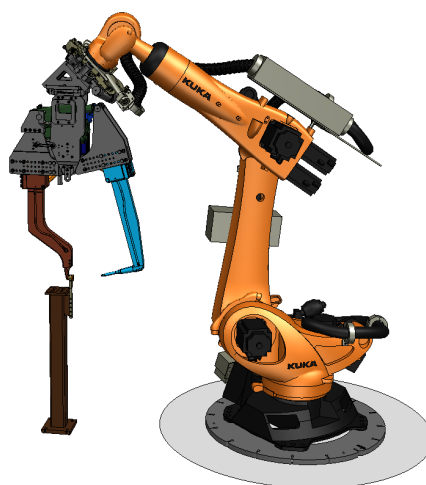


Рисунок 42 – Положение для калибровки сварочного пистолета робота 5080R02 Z

Третий сварочный робот также как и второй не обладает высокой консолью, однако, близкое расположение позиционирующей станции позволяет закрепиться к её неподвижной части, рисунок 43. Главным условием монтажа калибровочного инструмента к позиционирующей станции является сохранение работоспособности станции при любых условиях использования калибрования.

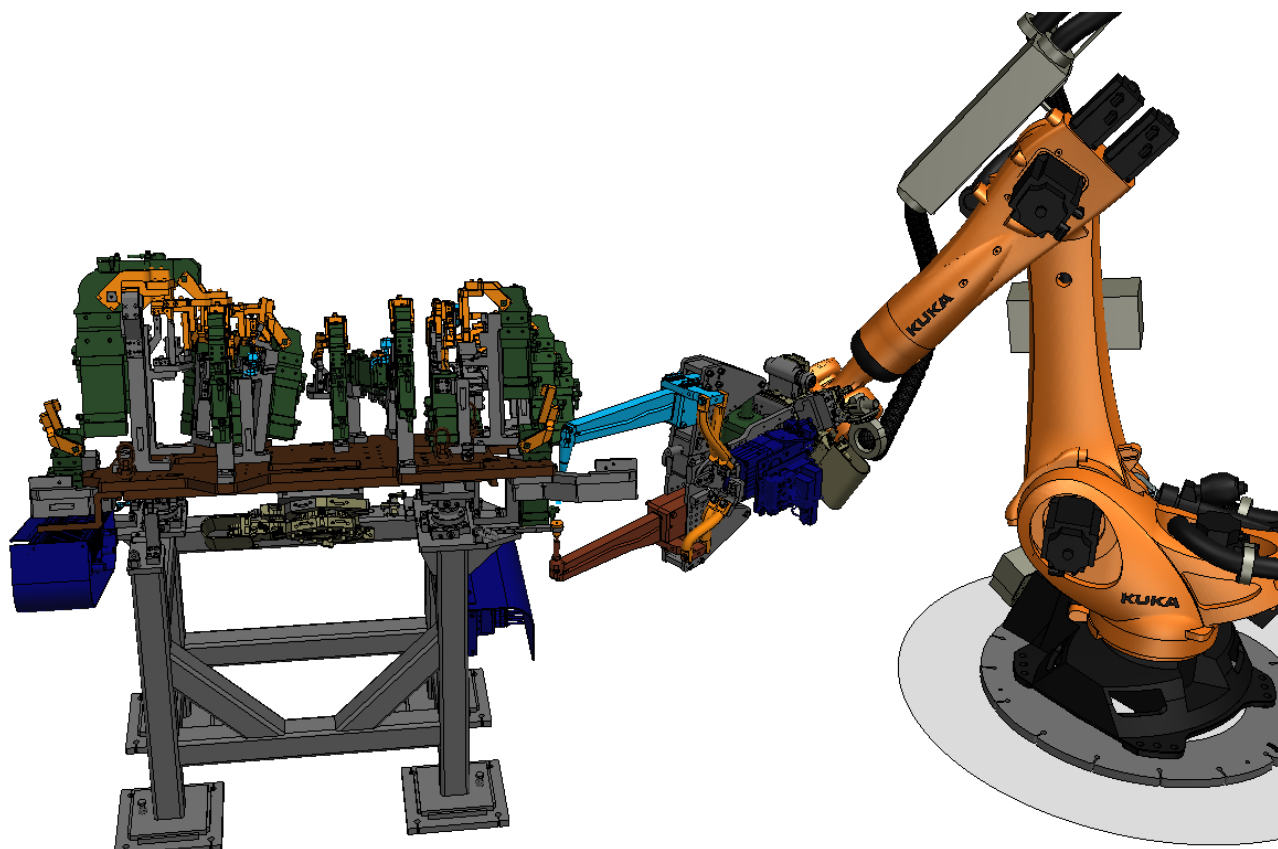
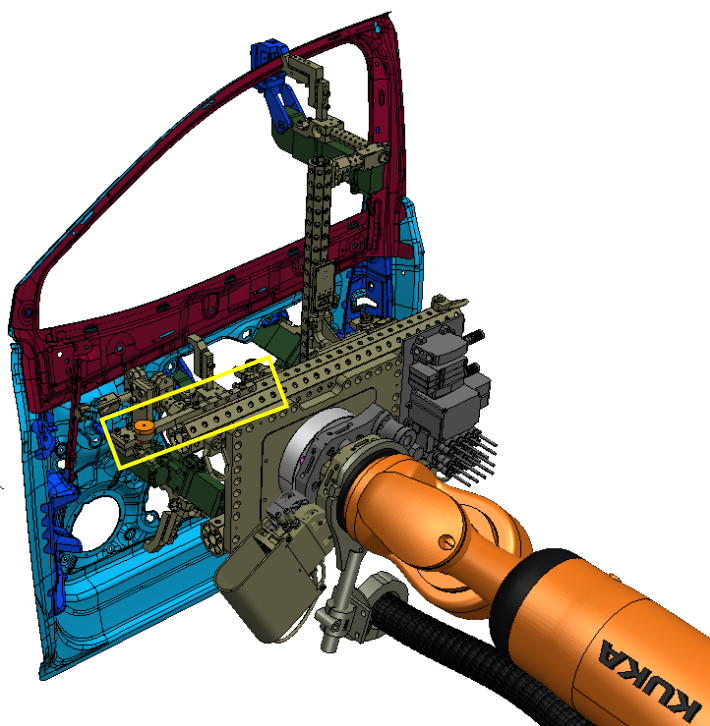
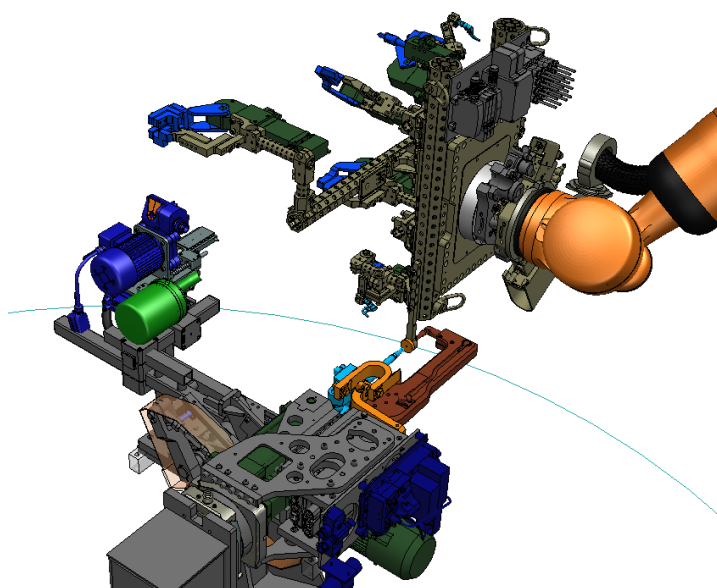


Рисунок 43 – Положение для калибровки сварочного пистолета робота 5080R03 Z

Калибрование стационарного инструмента производится аналогичным образом с той лишь разницей, что калибровочный инструмент монтируется на захватном устройстве робота, рисунок 44 а. На рисунке 44 б представлено положение калибрования стационарного инструмента.



a



б

Рисунок 44 – Калибровка стационарного сварочного пистолета робота 5082R01 G

В результате проведения работ по калиброванию инструмента были определены положения измерительных головок с учётом геометрии инструмента и захватного устройства, также учтено положение осей промышленного робота в процессе калибрования.

6 Организация безопасности

Организация безопасности обслуживающего персонала на автоматизированном производстве является приоритетной задачей при проектировании технологического процесса. Это значит, что при возникновении спорной ситуации решение принимается в сторону безопасности в ущерб остальным технологическим процессам. Учитывая, что проектируемые рабочие участки полностью автоматизированы и не требуют постоянного присутствия персонала, то и системы, обеспечивающие безопасность, также должны быть автоматизированы. Основная цель системы безопасности – это, защитить жизнь и здоровье человека любой ценой. Для этого применяется современная система контроля движения роботов, оценивающая степень угрозы для человека. Система разделяет пространство на рабочую зону и зону безопасности, предполагается, что в зоне безопасности в любой момент времени может находиться человек. В случае если система фиксирует перемещение робота из рабочей зоны в зону безопасности, то она отключает робота от источника питания. Система безопасности встроена в систему промышленного робота, но имеет собственный вычислительный контроллер, не зависящий от шкафа управления роботом [1].

Настройка системы безопасности промышленного робота заключается в том, чтобы предоставить контроллеру безопасности информацию о том, где проходит граница между рабочей зоной и зоной безопасности. Однако, до того, как выстраивать систему безопасности робота необходимо определить роботов, которые могут быть потенциально опасны для человека. Для определения роботов, которым необходимо создавать систему безопасности, применяются следующие критерии:

- робот с установленным инструментом может дотянуться до области, где может находиться человек;

- считается, что человек может свободно находиться за внешним забором рабочей области;

- внутренние границы, разделяющие разные участки сборки не учитываются при проектировании системы безопасности.

Рассмотрим проектируемый рабочий участок сборочного цеха и определим роботов, для которых необходимо создание зоны безопасности. На рисунке 45 представлен план расположения оборудования:

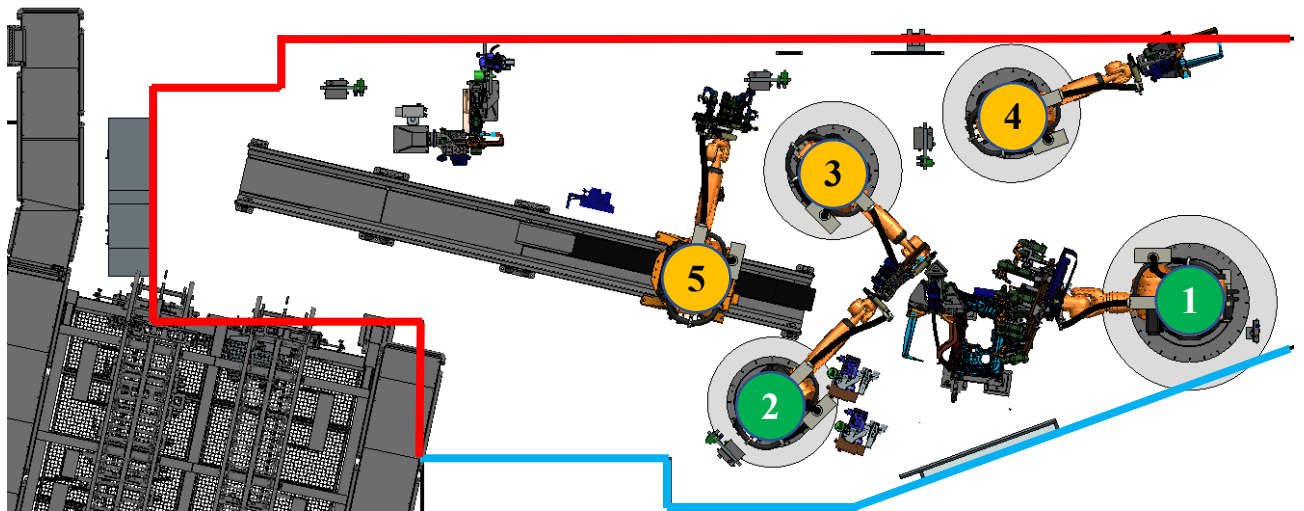


Рисунок 45 - План расположения оборудования

На рисунке синяя линия – внутренний забор; красная линия – внешний забор. Исходя из плана расположения роботов, роботы 1 и 2 не могут дотянуться до внешнего забора ни при каких условиях, поэтому для них нет необходимости создавать систему безопасности. Роботы 3, 4, 5 имеют прямой доступ к внешнему забору и потенциально могут нанести вред здоровью человека, находящегося за внешним забором. Для этих роботов необходимо создать зоны безопасности.

Для ограничения доступа человека по периметру рабочей зоны предусмотрен монтаж ограждения в виде забора высотой 2300мм из макролона.

Для начала рассмотрим систему безопасности для робота 5080R02 Z, для него достаточно ограничить подход к внешнему забору. Расстояние от забора до рабочей зоны робота должно быть не менее 300мм согласно правилам проекта. На рисунке 46 представлена рабочая зона робота, в пределах которой робот может свободно перемещаться, однако в случае попытки выйти за пределы рабочей зоны система безопасности отключит питание робота.

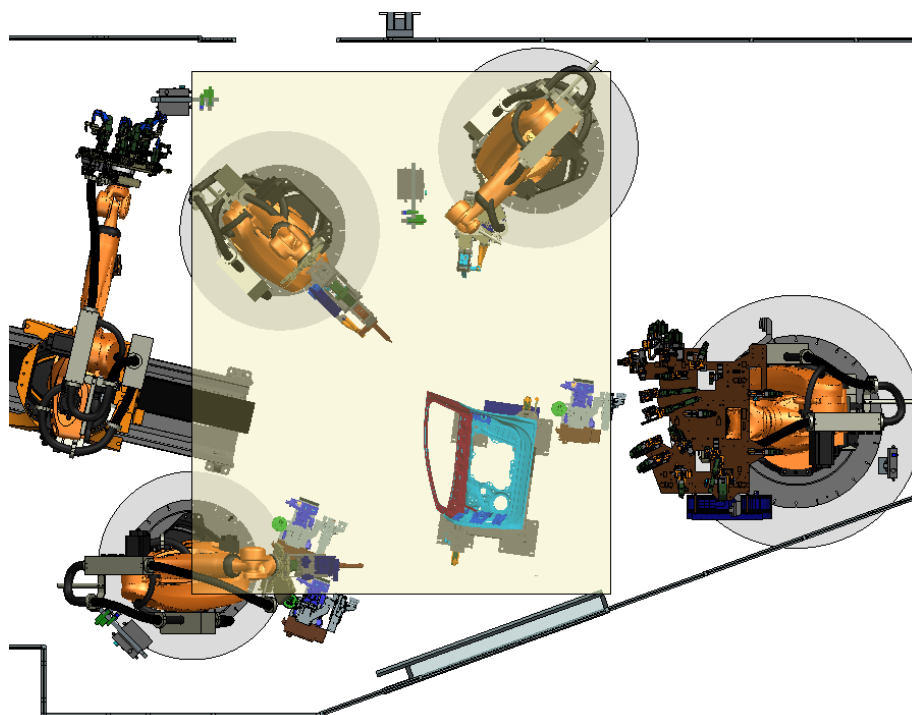


Рисунок 46 - Расположение рабочей зоны робота 5080R02 Z

Для робота 5080R03 Z рабочая зона будет смещена в сторону, чтобы покрывать устройство заточки колпачков. На рисунке 47 представлена рабочая зона робота R03.

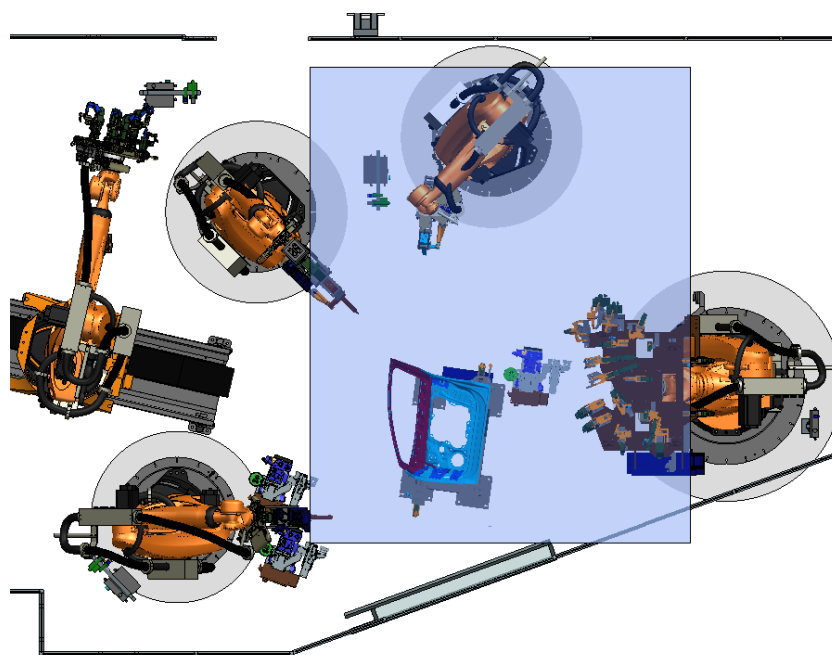
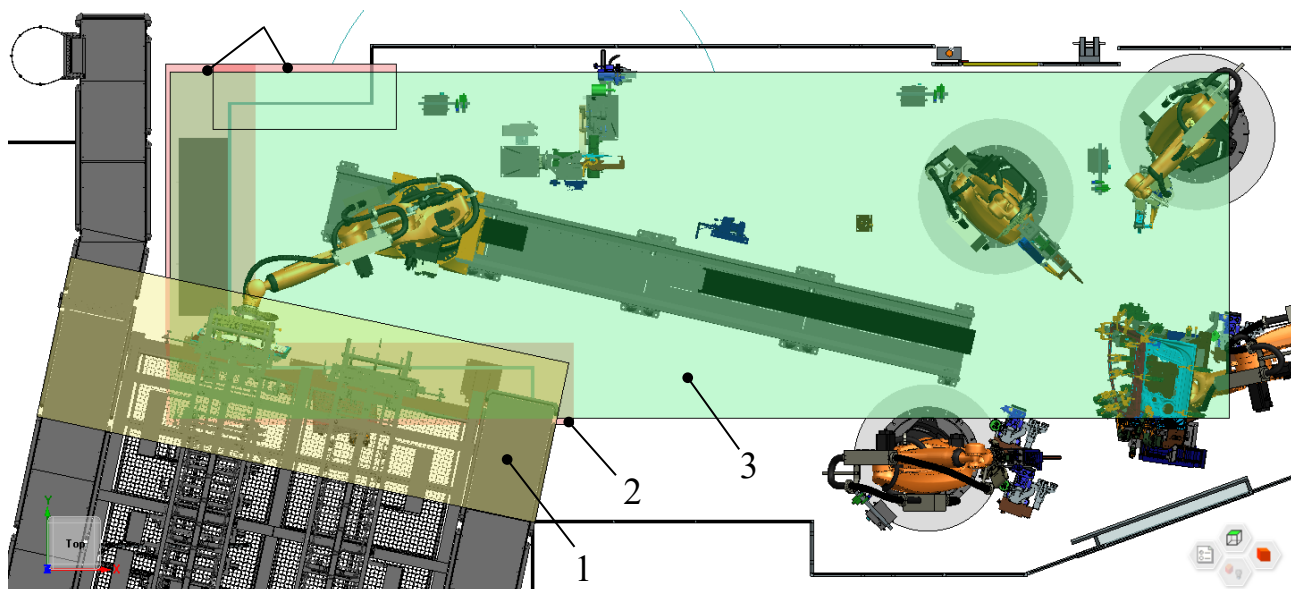


Рисунок 47 – Расположение рабочей зоны робота 5080R03 Z

Ситуация по безопасности для робота 5082R01 G сложнее, поскольку он окружён внешним забором и имеет конвейер. Потолочный конвейер, как часть сборочной цепочки должен находиться в связке с роботом и зависеть от управляющих сигналов робота. Таки образом, конвейер должен располагаться в рабочей зоне робота, но при этом иметь возможность для обслуживающего персонала подняться на конвейер для ремонта/наладки оборудования. Для того, чтобы обеспечить безопасность персонала в таких условиях необходимо для робота создать переключаемую рабочую зону. Эта зона будет рабочей для робота и не будет иметь ограничений до тех пор, пока человек не откроет дверь для доступа к конвейеру. В случае если сработает датчик открытия двери контроллер безопасности переключит рабочую зону конвейера в зону безопасности, запрещая роботу вход в зону безопасности. Таким образом робот будет иметь свободный доступ к конвейеру, однако в случае нахождения там человека робот не сможет приблизиться к конвейеру.

На рисунке 48 представлено расположение рабочей зоны и переключаемой зоны для робота 5082R01 G.



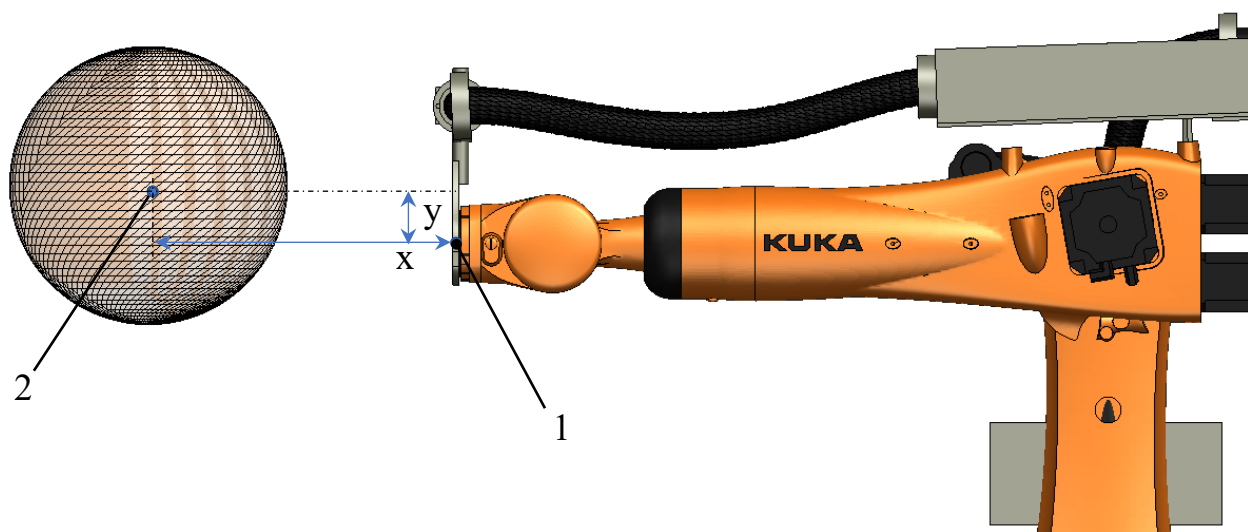
1 – переключаемая зона блокировки (жёлтый цвет); 2 – зона блокировки (красный цвет); 3 – рабочая зона робота (зелёный цвет);

Рисунок 48 – Расположение зоны безопасности для робота 5082R01 G:

Система безопасности промышленного робота функционирует следующим образом: в пространстве производится построение геометрических фигур типа прямоугольник и круг. Координаты положения этих фигур заносят в контроллер безопасности. Контроллер вычисляет по координате и размерам фигуры область в пространстве, которую ограничивает обозначенная фигура. Поскольку контроллер безопасности не знает о размерах инструмента, установленного на фланце робота, то возникает необходимость о том, чтобы контроллер безопасности смог в любой момент времени произвести вычисление положения инструмента относительно робота. Данная информация поможет отключить робота, в случае если части инструмента выйдут за пределы рабочей зоны робота. Для получения информации о положении инструмента в пространстве контроллер безопасности использует специальные сферы. В качестве базовой фигуры для вычисления положения инструмента была выбрана сфера потому, что область покрытия сферы легко

может быть вычислена по двум параметрам: 1. Центр координат сферы и 2. Радиус сферы. Обладая этими параметрами контроллер безопасности отслеживает траекторию движения сфер безопасности в пространстве и в случае пересечения с зоной безопасности контроллер отключает промышленного робота от источника питания, предполагая, что робот начал бесконтрольно перемещаться и возможно нанесение повреждений обслуживающему персоналу.

Исходя из вышесказанного контроллеру безопасности необходимо получить информацию о положении и размерах сфер безопасности. Для наилучшего эффекта в отслеживании движения инструмента сферы безопасности должны покрывать весь инструмент и автодеталь. Точка отсчёта координат сферы безопасности – центр фланца робота. На рисунке 49 показано, как контроллер безопасности рассчитывает размеры и положение сферы безопасности.



1 – центр фланца робота; 2 – центр сферы безопасности

Рисунок 49 – Координаты сферы безопасности по отношению к роботу

Современные контроллеры безопасности делятся по функционалу и по своим возможностям на разные категории: по количеству зон безопасности;

по количеству сфер безопасности; по типам фигур, применяемых для создания безопасности инструмента. Стандартный вариант контроллера безопасности позволяет создавать до 16 зон безопасности и не более 12 сфер безопасности. На рисунке 50 представлены сферы безопасности для робота 5082R01 G.

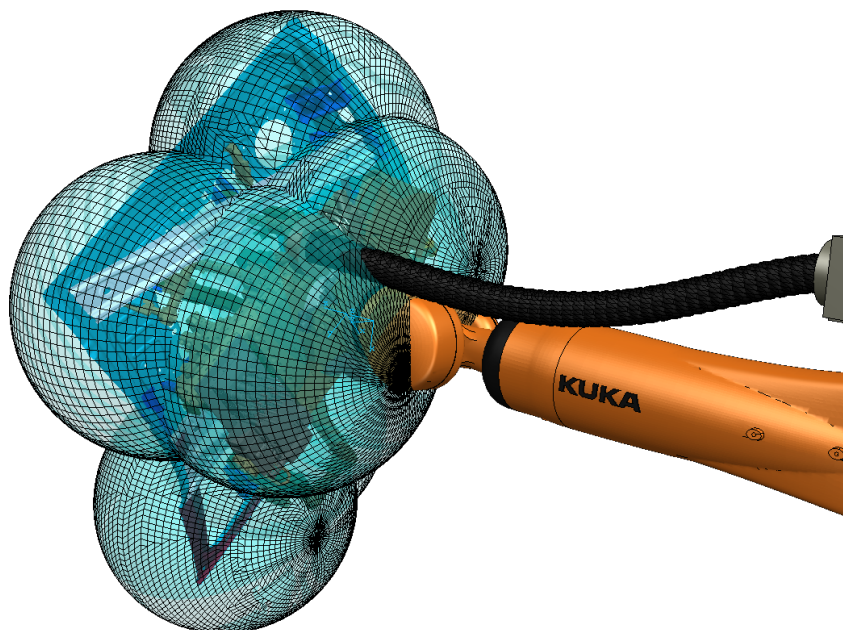


Рисунок 50 – Сферы безопасности для робота 5082R01 G

Формирование сфер безопасности, размеров и положения, должно соответствовать критериям:

- минимальный диаметр сферы должен быть не менее 200мм;
- шаг диаметра сферы 25мм;
- в процессе движения робота сферы безопасности не должны приближаться к зонам безопасности ближе, чем на 50мм;
- в процессе движения робота сферы безопасности не должны приближаться к границе рабочей зоны ближе, чем на 50мм;

Концепт безопасности считается рабочим если выполнены все перечисленные условия.

Проектируемый рабочий участок сборки автодеталей содержит в себе особые условия взаимодействия роботов на позиционирующей станции 5080. Согласно циклограмме параллельно друг с другом в обозначенной станции должны производить точечную контактную сварку три робота. Распределение сварочных точек было сделано с учётом параллельной работы роботов, чтобы они не мешали друг другу. Однако, при близком расположении двух роботов в процессе сварки необходимо учесть возможные перекрытия зон соседними роботами.

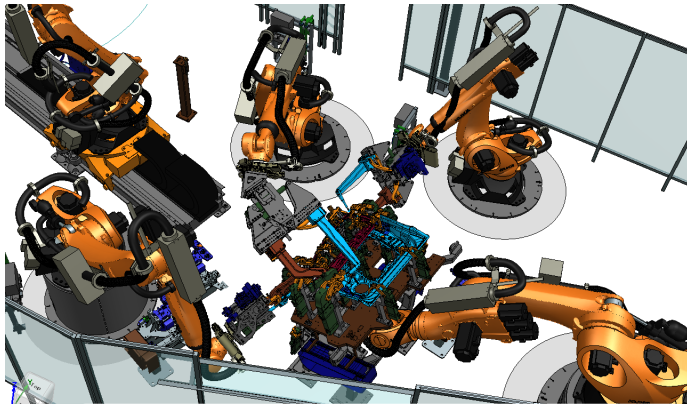
Для наглядного отслеживания зон перекрытия роботами необходимо создать последовательность сварки для всех роботов и оценить возможные блокировки рабочих зон. На рисунке 51 представлена последовательность сварки для всех роботов. Количество точек для каждого робота:

5080R01 – x4

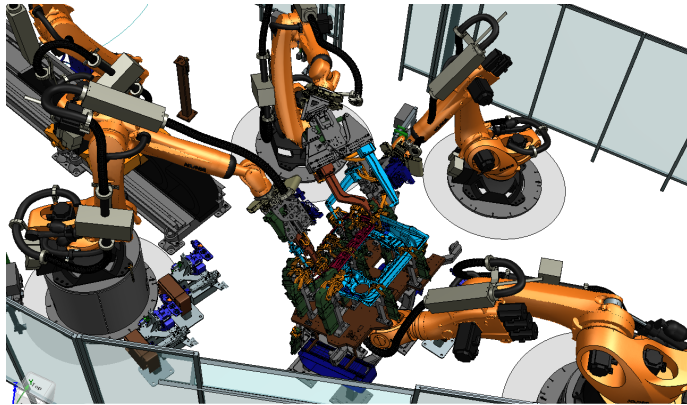
5080R02 – x7

5080R03 – x6

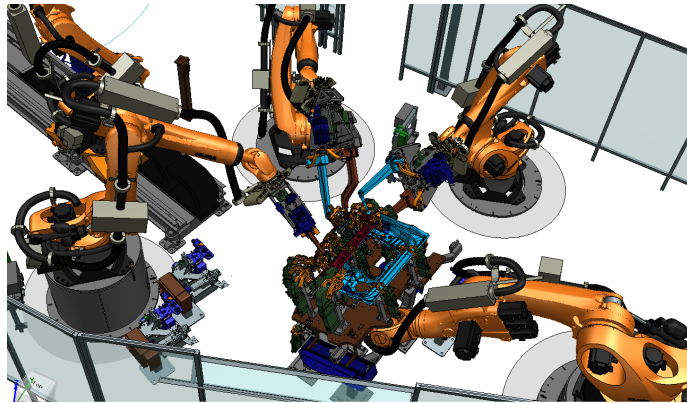
Как видно из распределения точек робот R02 имеет максимальную нагрузку в 7 точек, это значит, что в случае перекрытия зон с соседним роботом, он не сможет подождать, пока зона освободится. Робот R01 сможет подождать, поскольку он сваривает всего 4 точки, оставшееся время может быть перераспределено на ожидание освобождения зоны.



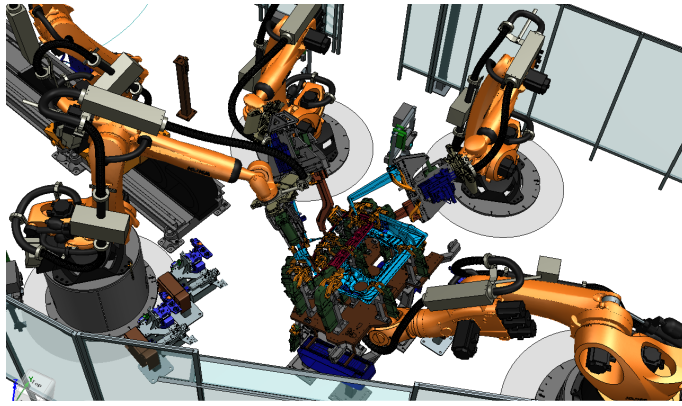
a
 x_1



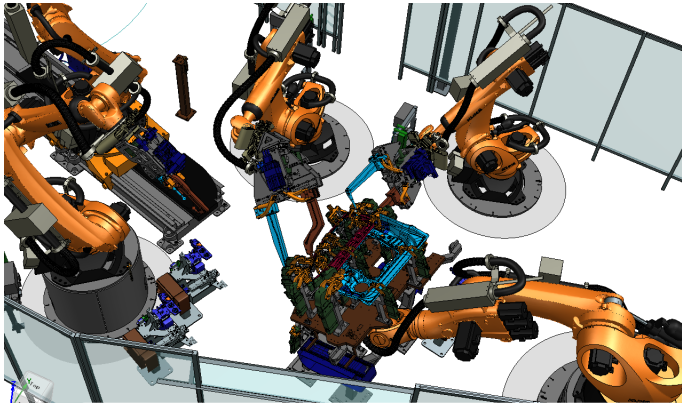
b
 x_2



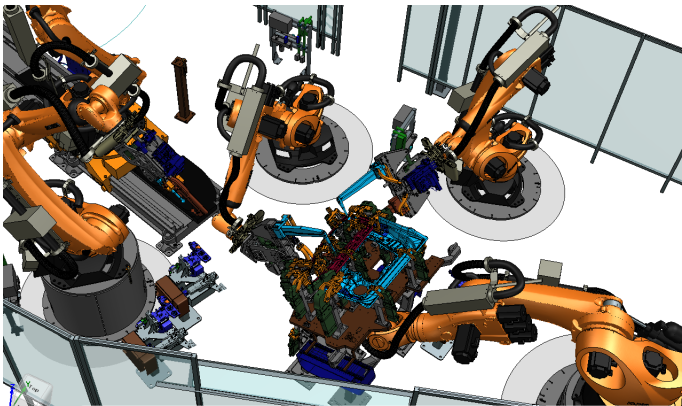
c
 x_3



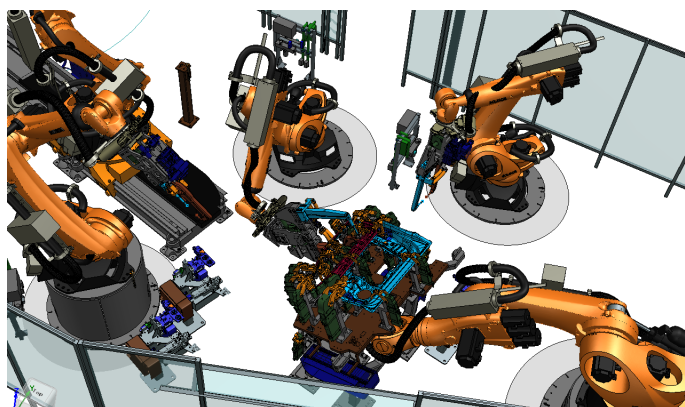
z
x4



o
x5



e
x6



Ж

x7

Рисунок 51 – Параллельная сварка роботов по точкам

Из рисунка видно, что параллельная работа роботов не перекрывает рабочие зоны друг друга. Критерием установки блокировок между зонами роботов является расстояние между подвижными элементами. В случае если расстояние менее 100мм, то требуется введение блокировок соседних роботов. Если расстояние более 100мм, то блокировки между роботами не требуется. Анализ параллельной работы роботов показал, что минимальное расстояние между роботами в процессе сварки достигает значения в 134мм, значит схема блокировок соседних роботов не требуется.

В результате проведения работ по созданию концепта безопасности определены потенциально опасные для обслуживающего персонала промышленные роботы, произведено зонирование опасных, получены координаты отключаемых и переключаемых зон безопасности.

7 Настройка и программирование робота

7.1 Вспомогательное оборудование робота

Захватное устройство промышленного робота подробно рассматривалось во 2-м разделе, кроме основных крепёжных элементов захватное устройство содержит группы фиксации автодетали, которые в нужный момент открываются и закрываются. Процесс открытия и закрытия прижимных механизмов происходит по действием сжатого воздуха, поступающего на входные разъёмы прижимов. Для распределения основной магистрали сжатого воздуха на отдельные прижимы и для объединения нескольких прижимов в одну магистраль сжатого воздуха на захватное устройство устанавливают пневмоостров. Пневмоостров состоит из пневматической и электрической части. Пневматическая отвечает за правильную последовательность открытия/закрытия прижимов, а электрическая часть отвечает за обмен сигналами с окружающим оборудованием в том числе и датчики присутствия автодетали. Для организации прокладки кабелей и пневматических трубок от основной магистрали к захватному устройству используют специальный гибкий шланг, закреплённый вдоль осей робота. На фланце 6-й оси робота, где заканчивается гибкий шланг для прокладки кабелей, трубок и проводов закреплён специальный элемент «ракетка», позволяющий выбрать направление выхода для кабелей и пневматических шлангов. На рисунке 52 представлено расположение «ракетки» робота 5082R01. «Ракетка» робота позволяет исключить эффект провисания и стирания кабелей и пневматических шлангов в результате постоянных нагрузок на изгиб. Положение «ракетки» на фланце 6-й оси робота должно удовлетворять критериям:

- расстояние от пневмоострова устройства до выходного отверстия «ракетки» должно быть минимальным;

- положение «ракетки» не должно вызывать столкновений с окружающим оборудованием, в том числе в процессе сервисного обслуживания;

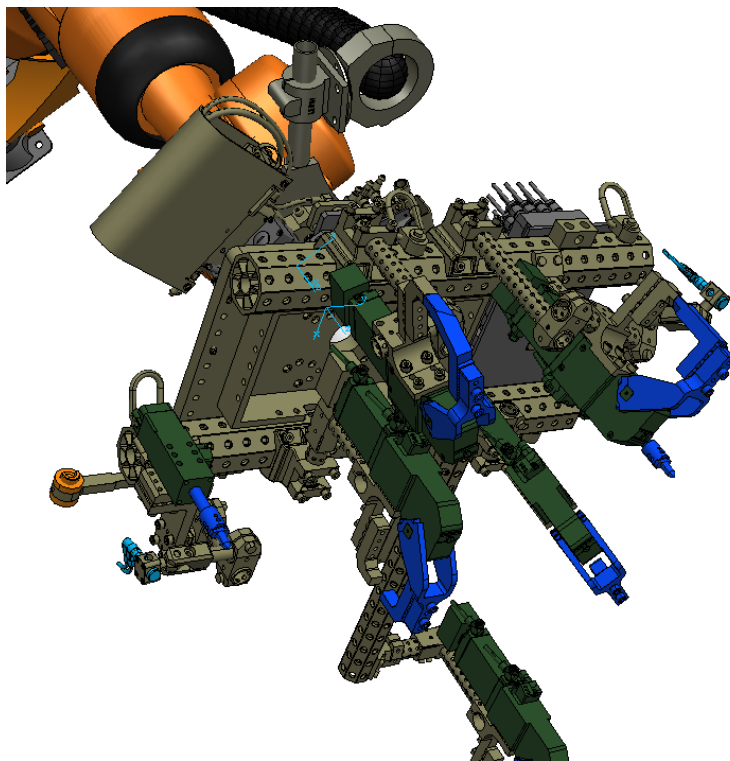
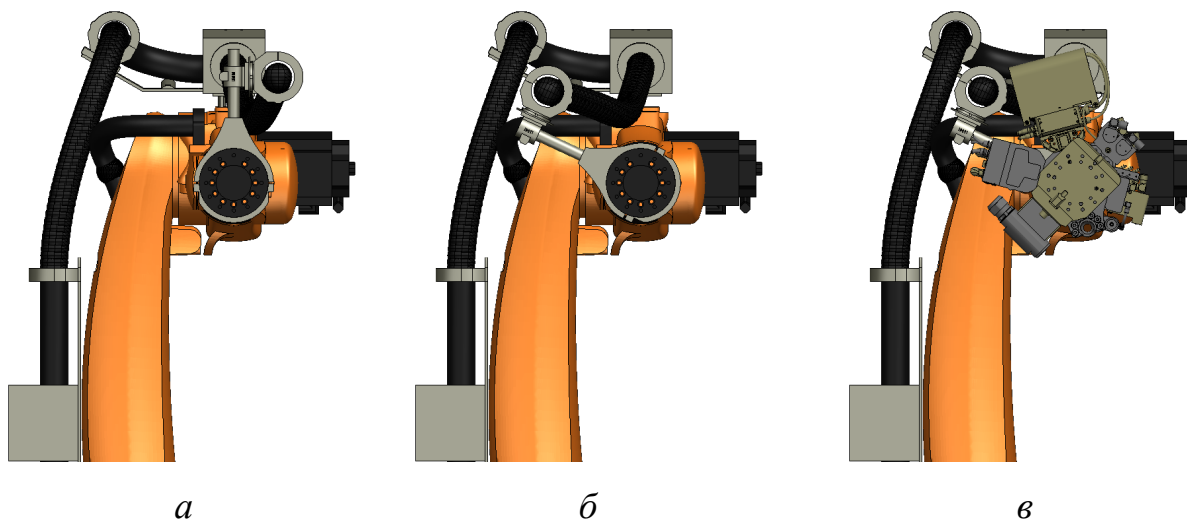


Рисунок 52 – Расположение «ракетки» на фланце 6-й оси робота

Основываясь на данных критериях для каждого робота входящего в рабочий участок сборки необходимо определить оптимальное положение «ракетки». Для робота 5080R01 Z положение «ракетки» представлено на рисунке 53. Для сварочного робота поворот ракетки вокруг 6-й оси робота составляет -65° градусов, при этом выходное кольцо смещено вдоль крепежной трубы на 50мм ближе к концу трубы. Такое положение позволяет избежать столкновения с платой для автоматической смены инструмента (в).



a – исходное положение 0° ; *б* – положение -65° смещение 50мм;
в – положение плат автоматической замены инструмента;

Рисунок 53 – Положение ракетки робота 5080R01

Подвод сжатого воздуха, кабелей питания, сигнальных кабелей и прочего оборудования для связанной работы нескольких промышленных роботов осуществляется в закрытых кабель-каналах шириной до 500мм и высотой 300мм. Прокладка кабель-канала по рабочему участку должна соответствовать следующим требованиям:

- кабель-канал должен быть подведён ко всем единицам оборудования, участвующим в процессе;
- кабель-канал должен располагаться с внутренней части рабочего участка, для обеспечения безопасности обслуживающего персонала;
- кабель-канал не должен мешать основным и вспомогательным процессам;
- минимальное расстояние между кабель-каналом и подвижными частями промышленного робота должно быть не менее 100мм.

На рисунке 54 показано расположение кабель-канала рабочего участка сборки автодетали.

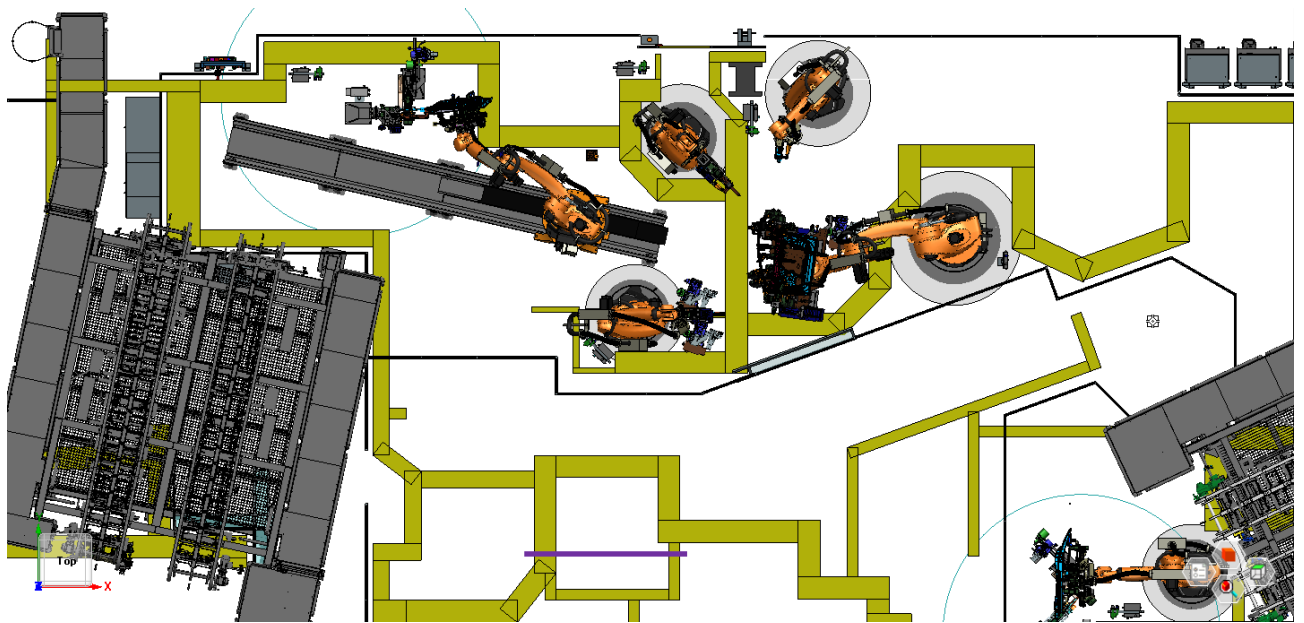


Рисунок 54 – Положение кабель-канала рабочего участка сборки

7.2 Программирование работа

Заключительный этап проектирования автоматизированного участка сборки кузова автомобиля - это программирование движения роботов и описание параметров движения. Все программы робота делятся на два типа: основная программа, выполняемая за рабочий цикл; вспомогательные программы, для сервисного обслуживания робота и инструмента, выполняются вне основного цикла. Этап программирования имеет смысл только после того, как основное и вспомогательное оборудование было расставлено и проверено на отсутствие столкновений, поскольку любое перемещение оборудования может привести к тому, что необходимо менять траекторию движения робота или концепт безопасности.

Согласно циклограмме, последовательность работы роботов, следующая:

Для робота с захватным устройством 5079R01:

– из «Старт» позиции робот подходит к фиксирующей станции 5080;

- ожидание загрузки автодетали в захват робота 5079R01 G;
- ожидание завершения процесса сварки роботами 5080R01/R02/R03;
- ожидание удаления автодетали из захвата;
- отход от станции 5080 и возвращение в позицию «Старт».

Для сварочных роботов 5080R01/R02/R03:

- подход к автодетали в станции 5080 из позиции «Старт»;
- сварка автодетали;
- отход от фиксирующей станции 5080 в позицию «Старт».

Для робота с захватным устройством 5082R01 G:

- из позиции «Старт» подход к станции 5080 для забора автодетали;
- подход к стационарному сварочному пистолету;
- сварка автодетали в захватном устройстве;
- переход от стационарного сварочного пистолета к потолочному конвейеру;
- установка автодетали на потолочный конвейер.

На рисунке 55 представлены точки траектории движения робота с настроенными параметрами: для каждой точки задана скорость движения (Speed); точность аппроксимации движения (Acc); конфигурация робота, которая описывает положение всех осей (Config); указан тип движения линейный или point-to-point; указаны оси, которые будет использовать робот для движения по точкам (Tool Frame); и указаны оси объекта (Object Frame).

Для процесса захвата автодетали из станции применено линейное движение робота с пониженной скоростью и повышенной точностью для того, чтобы повысить точность позиционирования. Для линейного движения характерно перемещение по прямой линии и соответственно скорость движения робота будет исчисляться в мм/сек.

В пространстве траектория движения робота представляет собой массив точек расположенный относительно базы робота. По умолчанию база робота находится в геометрическом центре монтажной платы робота. На рисунке 56

показано расположение запрограммированных точек по отношению к базе робота для 5080R01 Z. Координата каждой точки отсчитывается от центра робота и состоит из 6-и компонент. Первые три компонента это расстояния по 3-м осям в пространстве (x y z), а вторые три компонента это углы поворота по каждой из осей (Rx Ry Rz). Из этих 6-и компонент складывается полное описание положения точки в пространстве.

Итоговый результат написания траектории движения робота в дальнейшем выгружается на внешний носитель информации и переносится в контроллер управления роботом. Правильное и корректное программирование траектории движения и параметров движения позволяют избежать длительной процедуры отладки работы робота в цеху.

| Path Editor - ir_325082R01 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|--------|---------|----------|------------------------------|
| 0.00 - 0.02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paths & Locations | Attach... | Config | Acc | Motion... | Object... | Speed | V. | Servo ... | Tool... | X | Y | Z | RX | RY | RZ | Duration | OLP Commands |
| Folge01 | | | | | | | | | | | | | | | | 58.25 | -- VV316-6, TVOL ARG3 -- |
| P0 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 10 % | | 70 mm | t1 | -1249.33 | -5778.85 | -1561.11 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 0.08 | -- FRG 1 -- # WaitSignal 508 |
| P1 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -1249.33 | -5778.85 | -1561.11 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 0.00 | |
| P2 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -1249.33 | -5778.85 | -1561.11 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 0.00 | |
| P3 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | 302.11 | -8893.58 | -2543.88 | -19.57 | 31.32 | -25.92 | 2.00 | |
| P4 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | 421.90 | -8983.52 | -2626.66 | -18.35 | 31.89 | -23.66 | 0.52 | |
| P5 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | 495.14 | -9036.29 | -2674.09 | -18.35 | 31.89 | -23.66 | 0.36 | -- G_ZU 1,M2 -- :- ENT 2 -- |
| P6_Entnehmen | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 mm/s? | LIN | bf0 | 200 mm/s | | 70 mm | t1 | 572.89 | -9070.38 | -2726.95 | -18.35 | 31.89 | -23.66 | 4.00 | # Destination v_c4_15d4244 |
| P7 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 mm/s? | LIN | bf0 | 200 mm/s | | 70 mm | t2 | 495.14 | -9036.29 | -2674.09 | -18.35 | 31.89 | -23.66 | 2.00 | |
| P8 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | 419.62 | -8992.89 | -2623.99 | -18.35 | 31.89 | -23.66 | 0.32 | |
| P9 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | 302.11 | -8893.58 | -2543.88 | -19.57 | 31.32 | -25.92 | 0.54 | -- PF 1 -- :- VERR_AUS 7.1 |
| PF | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | -1249.32 | -6778.85 | -1561.10 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 1.81 | # Destination ir_325079R01 |
| P10 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | -1249.37 | -5778.84 | -1561.17 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 2.00 | |
| P11 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 3186.32 | -1317.36 | -2724.70 | -141.91 | 73.65 | -98.05 | 0.08 | # Display R_5082R01_G_VW |
| P12 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 1329.35 | -1614.58 | 3530.26 | -17.94 | -55.68 | 59.97 | 2.78 | |
| P13 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -350.83 | -503.52 | 221.33 | 17.98 | -5.36 | -121.10 | 2.80 | |
| P14 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -181.96 | -636.71 | 407.37 | 12.42 | -7.99 | -115.20 | 0.60 | |
| P15 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -119.87 | -595.19 | 519.81 | 11.06 | -10.28 | -114.01 | 0.30 | -- 11a831305_p0010_g0212 |
| 11a831305_p0010_g... | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 30 mm | t3 | -123.63 | -599.97 | 527.40 | 11.17 | -10.96 | -114.62 | 2.10 | # Weld # GunToState :- 11 |
| 11a831305_p0010_g... | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 30 mm | t3 | -100.97 | -609.12 | 532.91 | 11.09 | -11.13 | -114.18 | 1.87 | # Weld # GunToState |
| P18 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -119.87 | -595.19 | 519.81 | 11.06 | -10.28 | -114.01 | 0.40 | |
| P19 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -181.96 | -636.71 | 407.37 | 12.42 | -7.99 | -115.20 | 0.30 | |
| P20 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -350.83 | -503.52 | 221.33 | 17.98 | -5.36 | -121.10 | 0.60 | |
| P21 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 816.45 | -1078.44 | 920.41 | -26.08 | -85.36 | 85.15 | 2.47 | |
| P22 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -57.23 | -460.35 | 772.05 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.97 | |
| P23 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -29.60 | -487.87 | 606.05 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.62 | |
| P24 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 26.94 | -544.48 | 541.04 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.55 | -- 11a831305_p0010_g0212 |
| 11a831305_p0010_g... | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 30 mm | t3 | 42.12 | -558.56 | 561.03 | -84.53 | -71.03 | 130.28 | 2.10 | # Weld # GunToState :- FM |
| P26 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 26.94 | -544.48 | 541.04 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.40 | |
| P27 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -29.60 | -487.87 | 606.05 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.55 | |
| P28 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | -57.23 | -460.35 | 772.05 | -84.75 | -71.26 | 130.51 | 0.62 | |
| P29 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 816.45 | -1078.44 | 920.41 | -26.08 | -85.36 | 85.15 | 0.97 | |
| P30 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | | 100 % | | 70 mm | t3 | 296.75 | -1718.33 | 920.39 | -26.08 | -85.36 | 85.15 | 1.15 | -- FRG 4 -- |
| P31 | | OH- J3- J5-, T1:-1 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | 279.95 | -2584.19 | -1738.94 | -158.05 | 8.34 | 93.56 | 0.00 | -- G_AUF 2,M2 -- # Blank S |
| P32 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | -871.01 | -118.33 | -2102.71 | 58.44 | 35.00 | 140.42 | 4.10 | |
| P33 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | -1383.97 | 1582.62 | -2927.83 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 3.00 | |
| P34 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t2 | -1678.99 | 1575.47 | -3219.66 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 0.84 | |
| P35 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 mm/s? | LIN | bf0 | 200 mm/s | | 70 mm | t2 | -1721.44 | 1575.45 | -3261.84 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 1.55 | -- G_AUF 1,M1 -- :- ABL 5 -- |
| P36_Einlegen | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 mm/s? | LIN | bf0 | 200 mm/s | | 70 mm | t2 | -1685.79 | 1564.35 | -3291.53 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 1.59 | # Destination gre_c4_30d375 |
| P37 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -1513.12 | 1568.50 | -3124.76 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 0.69 | |
| P38 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -1264.99 | 1574.44 | -2885.16 | 91.12 | 43.99 | -178.63 | 0.70 | |
| P39 | | OH- J3- J5+, T1:- | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -881.05 | 435.83 | -2237.63 | 56.23 | 33.41 | 137.42 | 2.00 | |
| via9 | | OH- J3- J5+, T1:0 | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | 20.18 | -1569.46 | -1011.16 | 60.58 | -57.64 | 20.24 | 2.83 | -- PF 4 -- :- FM -- |
| P40 | | OH+ J3+ J5+, T1: | 100 % | PTP | bf0 | 100 % | | 70 mm | t1 | -1249.37 | -5778.84 | -1561.17 | -35.58 | 5.86 | -81.88 | 5.10 | |

Рисунок 55 – Программирование движений промышленного робота

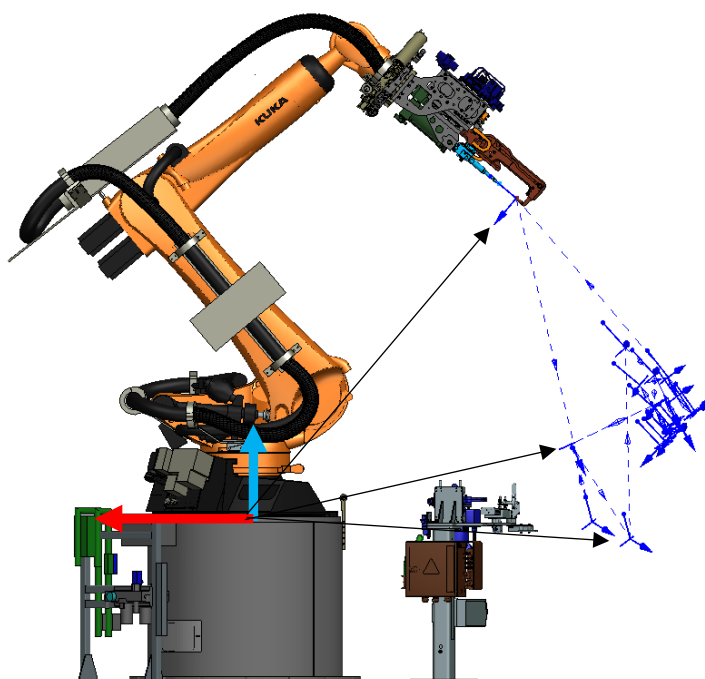


Рисунок 56 – Траектория движения робота по отношению к базе робота

Для того, чтобы при настройке робота в цеху программист мог понять какие действия должны быть выполнены на конкретном шаге выполнения операций, необходимо добавить команды оффлайн программирования. Команды оффлайн программирования описывают все движения оборудования, задействованного в процессе сборки автодеталей. Например, открытие/закрытие прижимных механизмов захватного устройства; закрытие сварочного пистолета, когда робот выйдет на позицию сварки; инициализация запуска программы; обработка и формирование прерываний для разблокировки зон совместного использования.

Аналогичным образом формируются и прописываются сервисные траектории движения робота.

В результате для промышленных роботов было сформировано 8 путей, включающих: основной цикл; калибровка осей робота; обслуживание робота; обслуживания инструмента; калибрования инструмента; для сварочных роботов: заточка колпачков; замена колпачков.

Заключение

Полученная компьютерная модель симуляции рабочего процесса кузовной сборки автодетали позволяет организовать циклический рабочий процесс в цеховых условиях; проектирование и расчёт захватного устройства позволило составить лист спецификации и инструкцию по сборке в цеховых условиях; полученные в результате проектирования захватного устройства данные позволили провести расчёт грузоподъёмности промышленного робота и подобрать соответствующий тип робота; анализ геометрии кузова и необходимых условий сварки позволило подобрать тип сварочного пистолета способный произвести сварку в указанных точках с достаточным усилием прижима; полученный макет расположения позволяет расставить вспомогательное оборудование таким образом, чтобы исключить столкновение с оборудованием в процессе сборки; программирование и написание траектории путей для промышленных роботов позволило облегчить пуско-наладочные работы в цеху; формирование облака инструментов позволило спроектировать сварочную станцию со свободным подводом инструмента в точки сварки; были выделены рабочие зоны и зоны безопасности для исключения нанесения вреда жизни и здоровью обслуживающего персонала.

Основные выводы:

- расчёт усилий прижима для захватного устройства позволил определить тип пневматических зажимов, необходимых для фиксации и позиционирования автодетали;
- вычисление статической и динамической нагрузок на оси промышленного робота позволило определить тип роботов с необходимой грузоподъёмностью для транспортировки и сварки автодетали;

- проведённый анализ типа и геометрии сварочного пистолета гарантирует возможность сварки автодетали в указанных точках автодетали без столкновений и с требуемым усилием прижима;

- в ходе проектирования определены оптимальные значения высоты и угла установки сварочного пистолета на стационарной консоли, обеспечивающие запас достижимости по осям промышленного робота;

- расположение периферийного и обслуживающего оборудования подобрано таким образом, что не препятствует выполнению основного рабочего цикла;

- применение указанного типа и модели калибровочных инструментов, а также их расположение позволяет провести быструю и точную калибровку не только рабочего инструмента, но и позиционирующие станций;

- разработанный концепт безопасности позволяет обслуживающему персоналу проводить действия контролирующие корректность работы сборочного участка, а также обеспечивает сохранность жизни и здоровья.

Разработанная компьютерная модель рабочего участка позволяет реализовать циклическую сборку автодетали для определённого кузова автомобиля.

По результатам симуляции рабочего процесса была сформирована видеозапись циклической работы проектируемого участка сборки автодетали, подтверждающая возможность организации рабочего процесса на основании

Список используемой литературы

1. Байнов А.М. Робототехника и компьютерное моделирование: задачи и перспективы применения / А.М. Байнов, Р.С. Зарипова / International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. – 2018. – № 2. – С. 4-7.
2. Балашов, В.М. Проектирование машиностроительных производств (механические цеха): Учебное пособие / В.М. Балашов, В.В. Мешков, А.Г. Схиртладзе. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. - 200 с.
3. Белоусов А.П., Дащенко А.И. Основы автоматизации производства в машиностроении. - М., 1982. - 349с.
4. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. - М.: КолосС, 2006. - 352 с.
5. Брюханов В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
6. Владзиевский А.П., Белоусов А.П. Основы автоматизации производства в машиностроении. - М.,1974. - 352с.
7. Евгеньев Г.Б. Основы автоматизации технологических процессов и производств. - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2019. - 920с.
8. Евтушенко С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев. - М.: Риор, 2018. - 752 с.
9. Зильбербург Л.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. - М.: Политехника, 2004. - 152с.
10. Клепиков В.В. Автоматизация производственных процессов: Учебное пособие / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, Н.М. Султан-заде. - М.: Инфра-М, 2019. - 351 с.
11. Кривоногова А.Е. Проблемы и перспективы развития индустрии искусственного интеллекта / А.Е. Кривоногова, Р.С. Зарипова / Аллея науки. – 2018. – Т.3. – №1(17). – С. 869-871.

12. Масуев, М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта / М.А. Масуев. - М.: Academia, 2017. - 224 с.
13. Овчинников В.В. Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов: Практикум: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / В.В. Овчинников. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 128 с.
14. Пантелеев В.Н. Основы автоматизации производства: Учебник / В.Н. Пантелеев. - М.: Academia, 2018. - 314 с.
15. Пырнова О.А. Применение робототехники в медицине / О.А. Пырнова, Р.С. Зарипова / Сборник статей XX Всероссийской студенческой научно-практической конференции Нижневартковского государственного университета. – 2018. – С. 384-386.
16. Самсонов В.В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D / В.В. Самсонов. - М.: Academia, 2019. - 216 с.
17. Скрябин В.А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / В.А. Скрябин, А.Г. Схиртладзе, А.Е. Зверовщиков, М. - М.: Инфра-М, 2018. - 384 с.
18. Славянский, А.А. Проектирование предприятий отрасли: учебник / А.А. Славянский. - М.: Форум, 2009. - 320 с.
19. Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. — М.: Абрис, 2018. — 565 с.
20. Туревский, И.С. Дипломное проектирование автотранспортных предприятий: Учебное пособие / И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ, Инфра-М, 2012. - 240 с.
21. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник – М.: ИНФРА – М, 2000. – 672с.

22. Фельдштейн Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. - М.: Инфра-М, 2019. - 208 с.

23. Хайруллин А.М. Обучение будущих инженеров робототехнике – вложение в конкурентоспособность страны / А.М. Хайруллин, Р.С. Зарипова / Сборник статей XX Всероссийской студенческой научно-практической конференции Нижневартковского государственного университета. – 2018. – С. 141-142.

24. Хайруллин А.М. Моделирование и программное обеспечение задач управления в робототехнике / А.М. Хайруллин, Р.С. Зарипова // Современные научные исследования и разработки. – №2(19). – 2018. – С. 326-327.

25. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / В.Ю. Шишмарев. - Рн/Д: Феникс, 2018. - 64 с.

26. I. Ramos Arreguin. Automation and Robotics // First published May 2008. Printed in Croatia. 396 pp. ISBN 978-3-902613-41-7

27. Cetto J.A. Informatics in Control Automation and Robotics / Cetto J.A., Filipe J., Ferrier J-L. (Eds.) // Springer, 2011. 538 p. ISBN: 3642197299

28. Dutta A. Robotic Systems - Applications, Control and Programming // InTech, 2012. 628 pp. ISBN:9789533079417, 9533079417.

29. Jacak W. Intelligent robotic systems. Design, planning and control // International Series on Systems Science and Engineering. Volume 14. kluwer academic publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 2002. 321 pp. eBook ISBN: 0-306-46967-7

Print ISBN: 0-306-46062-9

30. Laumond J.P. Robot Motion Planning and Control // Springer-Verlag, 1998, 343 pages.