

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

Автоматизация производства усилительных пластин лонжеронов
легкового автомобиля

Обучающийся

П.С. Ильченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

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

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

Содержание

Введение	3
1.1 Обзор автодетали	10
1.2 Основные операции сборочного участка	13
1.3 Соединение лонжерона и усилительной пластины	17
2 Фиксация и позиционирование деталей.....	21
2.1 Расчёт усилия прижима пневматических зажимов.....	21
2.2 Датчик расстояния	25
2.3 Проектирование захватного и транспортировочного устройств .	28
2.4 Проектирование сварочной станции	30
2.5 Пневматический план работы сварочной станции	32
2.6 Определение нагрузки на оси промышленного робота.....	35
2.7 Описание движений промышленного робота	38
3 Технологическое оборудование процесса сборки	40
3.1 Определение типа сварочного пистолета.....	40
3.2 Конфигурация робота в процессе сварки и нанесения клея.....	42
3.3 Обслуживание колпачков сварочного пистолета	45
3.4 Нанесение клеевого шва.....	47
4 Калибровка рабочего инструмента.....	51
5 Калибровка рабочей зоны робота	55
6 Настройка и программирование	62
6.1 Настройка оборудования робота	62
6.2 Программирование робота.....	65
Заключение	70
Список используемых источников.....	72

Введение

Широкое распространение в производственной деятельности человека получили сегодня промышленные роботы. Они служат одним из эффективнейших средств механизации и автоматизации транспортных и погрузочных работ, а также многих технологических процессов.

Положительный эффект от внедрения промышленных роботов обычно замечен одновременно с нескольких сторон: растет производительность труда, улучшается качество конечного продукта, снижаются затраты на производство, улучшаются условия труда для человека, и наконец, переход предприятия с выпуска одного вида продукции на другой значительно облегчается.

Однако для достижения столь обширного и многогранного положительного эффекта от внедрения промышленных роботов на уже работающие ручные производства, необходимо предварительно рассчитать планируемые затраты на сам процесс внедрения, на стоимость робота, а также взвесить, адекватна ли вообще сложность вашего производства и технологического процесса — плану модернизации при помощи установки промышленных роботов.

Ведь иногда производство настолько упрощено изначально, что установка роботов просто нецелесообразна и даже вредна. К тому же «для наладки, обслуживания, программирования роботов — потребуются квалифицированные кадры, а в процессе работы — вспомогательные устройства и т. д. это важно учитывать заранее.

Так или иначе, роботизированные безлюдные решения на производствах приобретают сегодня все большую актуальность хотя бы потому, что вредное влияние на здоровье человека сводится к минимуму. Прибавим сюда понимание того, что полный цикл обработки и монтажа осуществляется быстрее, без перерывов на перекур и без ошибок, свойственных любому

производству, где вместо робота действует живой человек. Человеческий фактор, после настройки роботов и запуска технологического процесса, практически исключается.

На сегодняшний день ручной труд в большинстве случаев замещается трудом робота манипулятора: инструментальный захват, фиксация инструмента, удержание заготовки, подача ее в рабочую зону. Ограничения накладывают лишь: грузоподъемность, ограниченность рабочей зоны, предварительно запрограммированные движения.

Промышленный робот способен, тем не менее, обеспечить:

- высокую производительность, благодаря быстрому и точному позиционированию
- лучшую экономичность, так как не нужно платить зарплату людям, которых он собой заменяет, достаточно одного оператора
- высокое качество — точность порядка 0.05 мм, низкая вероятность появления брака
- безопасность для здоровья людей, например в силу того, что при покраске теперь контакт людей с лакокрасочными материалами исключается
- наконец, рабочая зона робота строго ограничена, а обслуживание ему требуется минимальное, даже если рабочая среда химически агрессивна, материал робота выдержит это воздействие.

Исторически первый промышленный робот, изготовленный по патенту, был выпущен в 1961 году компанией Unimation Inc для завода General Motors в Нью-Джерси. Последовательность действий робота записывалась в виде кода на магнитный барабан и выполнялась в обобщенных координатах. Для осуществления действий робот использовал гидроусилители. Данная технология потом была передана японской Kawasaki Heavy Industries и английской Guest, Keen and Nettlefolds. Так производство роботов от Unimation Inc несколько расширилось.

К 1970 году в Стэнфордском университете был разработан первый робот, напоминающий возможностями человеческую руку с 6 степенями свободы, который управлялся с компьютера, а приводы имел электрические. Одновременно разработки ведет японская Nachi. Немецкая KUKA Robotics в 1973 году продемонстрирует шестиосевого робота Famulus, а швейцарская ABB Robotics уже начнет продавать робота ASEA, — тоже шестиосевого и на электромеханическом приводе.

В 1974 японская компания Fanuc налаживает собственное производство. В 1977 выпускается первый робот Yaskawa. С развитием компьютерной техники роботы все больше внедряются в автомобилестроение: в начале 80-х General Motors вкладывает сорок миллиардов долларов в формирование собственной системы автоматизации заводов.

В 1984 году отечественный «Автоваз» приобретет лицензию KUKA Robotics и станет производить роботов для собственных поточных линий. Почти 70% всех роботов мира, по состоянию на 1995 год, придется на Японию, на ее внутренний рынок. Так промышленные роботы окончательно укрепятся в сфере производства автомобилей.

Как автомобильное производство обойдется без сварки? Никак. Вот и выходит, что все автомобильные производства мира оснащены сотнями комплексов роботизированной сварки. Каждый пятый промышленный робот занимается сваркой. Далее по востребованности идет робот-погрузчик, но аргонодуговая и точечная сварки — на первом месте.

Никакая ручная сварка не сравнится по качеству шва и по степени контроля за процессом со специализированным роботом. Что и говорить о лазерной сварке, где с расстояния до 2 метров сфокусированным лазером технологический процесс осуществляется с точностью до 0,2 мм — это просто незаменимо в авиастроении и медицине. Прибавьте сюда интеграцию с CAD/CAM цифровыми системами.

Робот-сварщик имеет три главных действующих узла: рабочий орган, ЭВМ управляющую рабочим органом и память. Рабочий орган оснащен захватом, похожим на кисть руки. Орган имеет свободу перемещения по трем осям (X, Y, Z), а сам захват способен вращаться вокруг этих осей. Робот и сам может перемещаться по направляющим.

Ни одно современное производство не обойдется без выгрузки и погрузки, независимо от габаритов и веса изделий. Робот самостоятельно установит заготовку в станок, а после — выгрузит и уложит. Один робот способен взаимодействовать сразу с несколькими станками. Конечно, нельзя не упомянуть в этом контексте погрузку багажа в аэропорту.

Роботы уже сейчас позволяют минимизировать затраты на содержание персонала. Речь не только о таких простых функциях, как работа штампом или оперировании печью. Роботы способны поднимать большой вес, в гораздо более тяжелых условиях, при этом не уставая и затрачивая существенно меньше времени, чем потребовалось бы живому человеку.

На литейном и кузнечном производствах, к примеру, условия традиционно очень тяжелы для людей. Данного рода производства находятся на третьем месте после выгрузки-загрузки по объему роботизации. Не даром уже сейчас практически все европейские литейные цеха оснащены автоматизированными системами с промышленными роботами. Стоимость внедрения робота обходится предприятию в сотню тысяч долларов, но в распоряжении появляется весьма гибкий комплекс, окупаемый с лихвой.

Роботизированные лазерная и плазменная резки позволяют улучшить традиционные линии с плазменными горелками. Трехмерная резка и раскрой уголков и двутавров, подготовка для дальнейшей обработки, сварки, сверления. В автомобилестроении данная технология просто незаменима, ибо края изделий необходимо точно и быстро обрезать после штамповки и формовки.

Один такой робот может совмещать в себе и сварку, и резку. Производительность повышается внедрением гидроабразивной резки, исключая ненужное тепловое воздействие на материал» [1, 2, 3]. Таким образом за две с половиной минуты вырезаются все мелкие отверстия в металле кузовов Renault Espace на роботизированном заводе Renault во Франции.

Цель работы является модернизация сборочного участка усилительных пластин левого лонжерона легкового автомобиля посредством роботизации технологических операций транспортировки, нанесения клеевых швов, точечной контактной сварки и клёпки деталей. В представленной работе объектом исследования является усилительная пластина, представляющая собой сборочную единицу.

Поставленная цель достигается решением ряда задач:

1. Анализ исходных данных для проектирования;
2. Разработка циклограммы последовательной работы роботизированного участка;
3. Составление спецификации необходимого оборудования и проработка положения оборудования для построения технологического процесса (основного и вспомогательного);
4. Проектирование основного оборудования;
5. Расчёт грузоподъёмности промышленных роботов с использованием проектируемых устройств;
6. Построение точек траекторий и настройка параметров движения промышленных роботов;
7. Создание среды безопасности обсуживающего персонала посредством формирования зон безопасности движения промышленных роботов.

Предметом исследования является виртуальная модель сборочного участка кузова автомобиля.

Применяемы метод исследования – компьютерное моделирование в специализированных системах автоматизированного проектирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Устройство для позиционирования и фиксирования усилительных пластин с последующим соединением их точечной контактной сваркой;
2. Захватно-транспортирующее устройство для нанесения клеевого шва на усилительную пластину;
3. Комбинированное устройство, представляющее собой соединение транспортирующего устройства и сварочного пистолета;
4. Устройство фиксации и позиционирования лонжерона с усилительными пластинами для соединения их посредством операции клёпка;
5. Концепт безопасности, обеспечивающий защиту обслуживающего персонала в процессе работы сборочного участка.

Научной новизной работы являются устройства, разработанные с учётом технологических операций для соединения усилительных пластин с лонжероном, взаимное расположение и безаварийное взаимодействие оборудования в ходе выполнения технологических операций.» [11, 23, 32]

Практическая значимость проекта заключается в возможности применения полученных цифровых данных в виде компьютерной модели сборочного участка цеха для создания сборочного участка на производстве. Использование информации о цеховом расположении оборудования относительно начала координат позволит произвести пуско-наладочные работы на производстве с минимальными затратами ресурсов, а также обеспечить циклическую и бесперебойную работу промышленных роботов в заданных границах рабочего цикла; изготовление устройств «по спроектированным компьютерным моделям гарантирует совместимость взаимодействующих единиц оборудования; применяемое программное обеспечение позволяет симулировать движения промышленного робота и подготовить программные данные для реализации движения промышленного

робота, это позволяет исключить программирование движений промышленных роботов «на месте» в цеху, что значительно снижает экономические затраты на реализацию проекта; разработанная схема промышленной безопасности обслуживающего персонала позволит исключить несчастные случаи на производстве, что также снижает экономическую нагрузку. Полученные результаты работы могут быть использованы на сборочном участке каркаса автомобиля, также результаты могут лечь в основу проектирования дальнейшей стадии сборки автомобильного каркаса, а именно участка присоединения лонжерона автомобиля и усилительных пластин к арке и днищу каркаса автомобиля; также для проектирования участка сборки правой стороны лонжерона легкового автомобиля.» [10, 18, 23].

1 Исходные данные для проектирования

Исходные данные для проектирования включают в себя общее описание деталей, участвующих в процессе сборки; описание технологического процесса сборки, а также оборудования, необходимого для построения циклического процесса сборки, последовательность необходимых манипуляций с графическим представлением основных элементов.

1.1 Обзор автодетали

Лонжерон – это труба прямоугольного сечения (продольная балка), которая проходит через переднюю или заднюю часть кузова автомобиля (или насквозь от переднего бампера до заднего). Лонжероны могут быть монолитными (изготавливаются в виде одной детали фрезерованием или штамповочным методом) и составными (конструируется из нескольких элементов при помощи сварки). Обычно лонжероны парные: правый и левый. Левый или правый составной лонжерон условно делится на три части: передний, средний и задний. Причем передний и задний находятся выше относительно среднего, что придает лонжерону так называемую S-образную форму.

Относительно друг друга лонжероны могут располагаться как параллельно друг другу (в составе лонжеронных рам), так и под некоторым углом (например, в вильчато-хребтовых рамах).

Сегодня лонжероны входят в конструкцию любого автомобиля вне зависимости от типа его несущей системы. Изготавливают лонжероны из алюминиевых или титановых сплавов, а также из сталей или композиционных материалов. Основным сечением является швеллер (коробчатое П-образное сечение), причем в наиболее нагруженных местах высота сечения больше.

Иногда, хотя бы на небольшом отрезке, они могут иметь сечение короб (замкнутое).

Лонжерон является основным силовым элементом транспортного средства: в рамных автомобилях (грузовики, тяжелые внедорожники) лонжерон является частью рамы, в безрамных (легковые автомобили) — служит усилительной деталью для брызговиков, днища кузова и пола багажного отсека. Лонжерон несет на себе нагрузки кузова, двигателя и пассажиров. Это одна из самых прочных частей машины. Кроме того, лонжероны являются амортизаторами передней части кузова, так как располагаются в зоне поглощения деформации. Слишком жесткая и прочная конструкция кузова не может поглотить энергию удара, кузов практически полностью передает энергию пассажирам. Для того, чтобы часть кузова, в которой находятся люди, деформировалась минимально, необходимо смягчить удар.

С этой целью в передней и задней частях кузова организуются деформируемые зоны, их силовая структура в продольном направлении сознательно ослабляется. В частности, различными способами ослабляют лонжероны: уменьшают толщину их стенок или сечения (переменное сечение лонжеронов), выполняют сквозные прорезы и специальные отверстия в слабонагруженных местах, при штамповке создают складки, предусматривающие в случае аварии смятие лонжерона в гармошку и т.д. При столкновении эти части подвергаются значительному разрушению, но одновременно поглощают большую часть кинетической энергии (энергии движущегося тела), тем самым они уменьшают силу удара, направленную в сторону салона.

Таким образом корректная и правильная сборка усилительных пластин лонжерона позволяет повысить безопасность и качество транспортного средства.

На Рисунок 1 представлено расположение и составные части усилительных пластин заднего лонжерона.

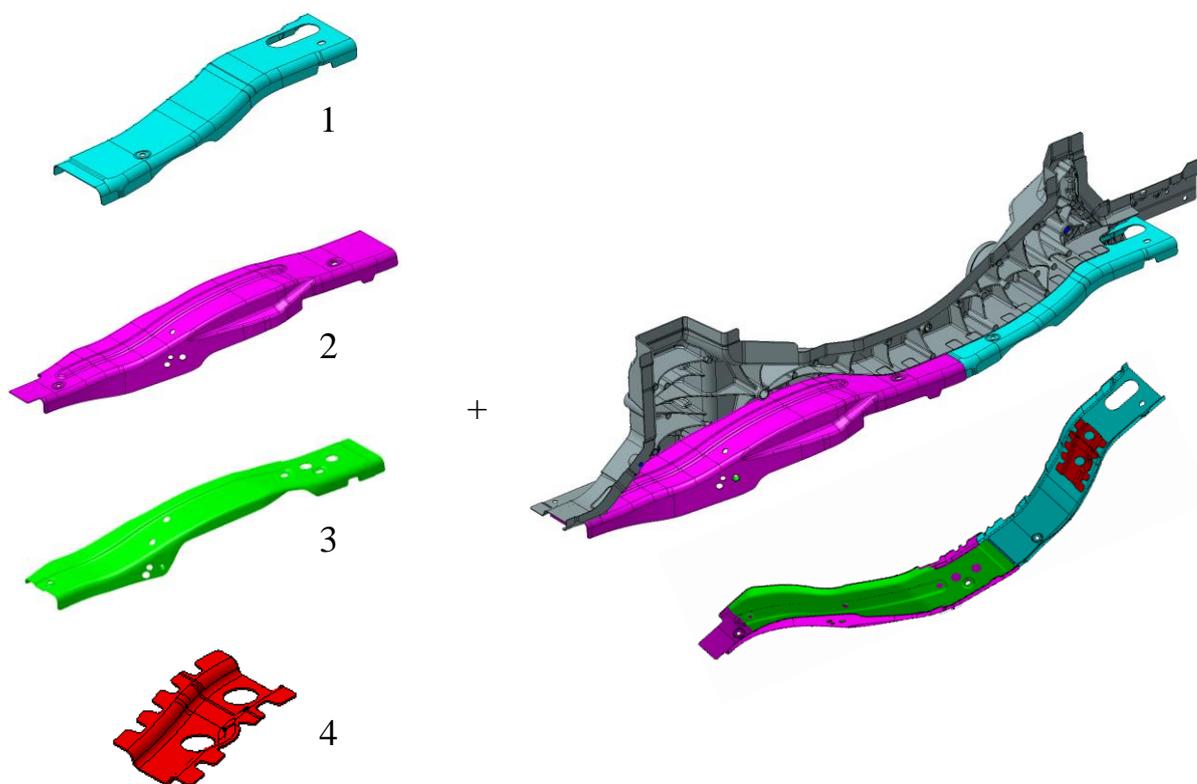
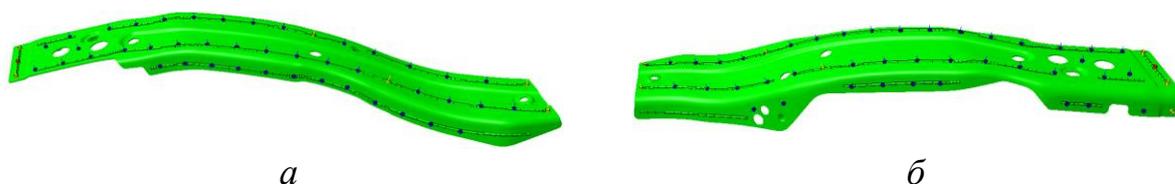


Рисунок 1 - Крепление усилительных пластин заднего лонжерона

Сборочная деталь усилительной пластины состоит из двух верхних частей 1, 2 и двух нижних 3 и 4. На первом этапе сборки на деталь 3 наносится клеевой шов по периметру, после чего деталь соединяется с верхней пластиной. После этого оставшиеся детали 1 и 4 скрепляются с деталями 1 и 2 посредством точечной контактной сварки с прижимным усилием в точках не ниже 4700Н. Крепление собранной усилительной пластины к лонжерону осуществляется клёпками, поскольку особый сплав алюминия, из которого изготовлен лонжерон не восприимчив к сварке.

1.2 Основные операции сборочного участка

Для соединения верхней и нижней деталей усилительных пластин необходимо по периметру нижней детали нанести клеевой состав. На рисунке Рисунок 2 представлено положение клеевых швов по периметру детали.



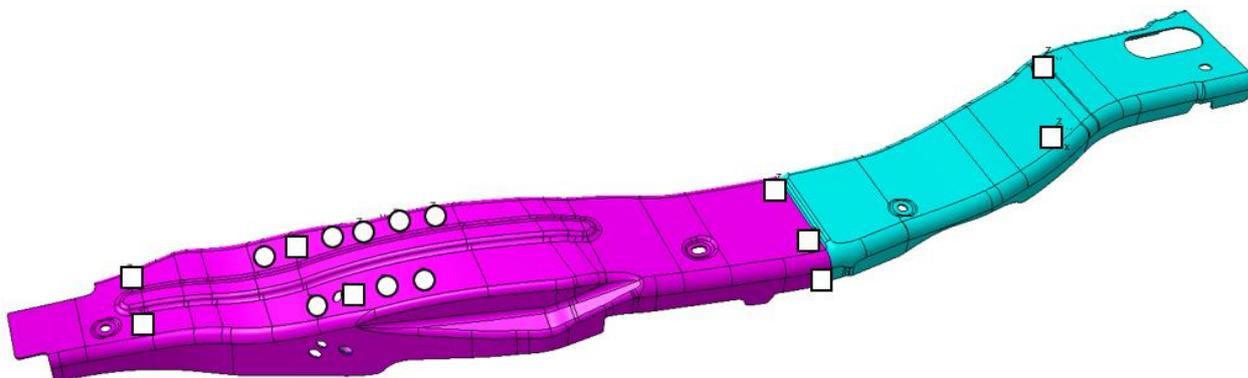
a – Левая сторона детали; *б* – Правая сторона детали

Рисунок 2 – Положение клеевых швов на нижней детали усилительной пластины:

После нанесения клеевого состава на нижнюю деталь её необходимо соединить с верхней и зафиксировать точечной контактной сваркой в указанных точках. Описанные операции осуществляются в специальной позиционирующей станции, на которую последовательно устанавливаются все детали. После установки деталей, станция фиксирует положение деталей посредством пневматических зажимов, после чего происходит соединение деталей сварочным пистолетом в нескольких точках, для сохранения геометрии сборочной единицы (геоточки). По завершении процесса сварки сборочная единица поступает на следующий этап, где осуществляется доварка оставшихся точек, обеспечивающих качественное соединение деталей.

В соответствии с регламентом технологического процесса в первую очередь выполняется сварка геоточек, отвечающих за сохранность геометрии и относительного расположения деталей. После того, как будут обработаны геоточки, если у робота останется время, он может выполнить сварку вспомогательных точек. На рисунке Рисунок 3 представлено положение

сварочных геоточек и вспомогательных, для сохранения геометрии и фиксации относительного расположения деталей.



- – положение геоточек;
○ – положение вспомогательных;

Рисунок 3 – Положение сварочных точек:

В результате анализа времени цикла и загруженности работа на операции сварке роботу было назначено 8 геоточек и 8 вспомогательных, к тому же робот выполняет также транспортирующую функцию и перемещает детали с одной станции на другую. Завершение процедуры распределения сварочных точек позволяет приступить к разработке фиксирующей станции для сварки деталей [13, 17, 21, 25].

Рабочее время цикла не позволяет промышленному роботу обработать все необходимые сварочные точки. Реализацию оставшихся сварочных точек целесообразно передать другому промышленному роботу, оснащённому только сварочным пистолетом и работающему с одной сварочной станцией. Такая станция будет обладать меньшим количеством позиционирующих и фиксирующих пневматических механизмов по причине того, что основные геометрические точки были сварены на предыдущем этапе и нет необходимости в высокоточном позиционировании деталей друг

относительно друга. На рисунке Рисунок 4 представлено распределение оставшихся вспомогательных сварочных точек.



Рисунок 4 – Распределение вспомогательных варочных точек

После завершения операции сварки усилительная пластина в сборе поступает на этап соединения с лонжероном.

На рисунке Рисунок 5 представлена схема технологического процесса сборки усилительной пластины лонжерона с кратким описанием необходимых действий. Один промышленный робот может выполнять не более двух технологических операций. Как правило робот выполняет либо одно действие (сварка, транспортировка, нанесение клея, клёпка), либо действие + транспортировка, если позволяет рабочий цикл робота.

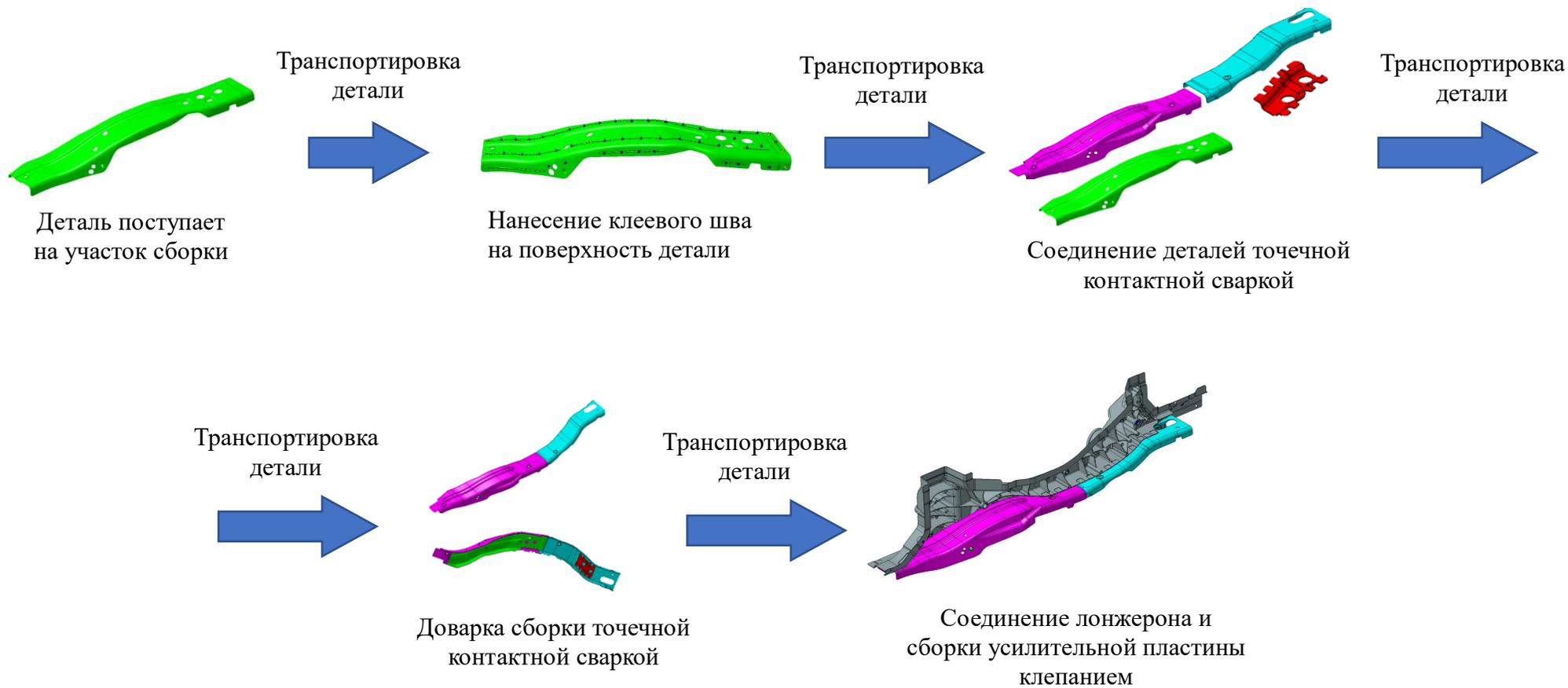


Рисунок 5 – Схема технологического процесса сборки усилительной пластины

1.3 Соединение лонжерона и усилительной пластины

Соединение лонжерона и усилительной пластины происходит посредством клепки в специальной позиционирующей станции после установки лонжерона и пластины.

Необходимость «применения клёпочной технологии соединения автодеталей основано на том, что основная автодеталь – левый лонжерон выполнен из особого сплава алюминия, не позволяющего применять точечную контактную сварку. Для обеспечения надёжности соединения в будущем учтена возможность модернизации технологического процесса и включения операции нанесения клеевого шва в область расположения точек клёпки.

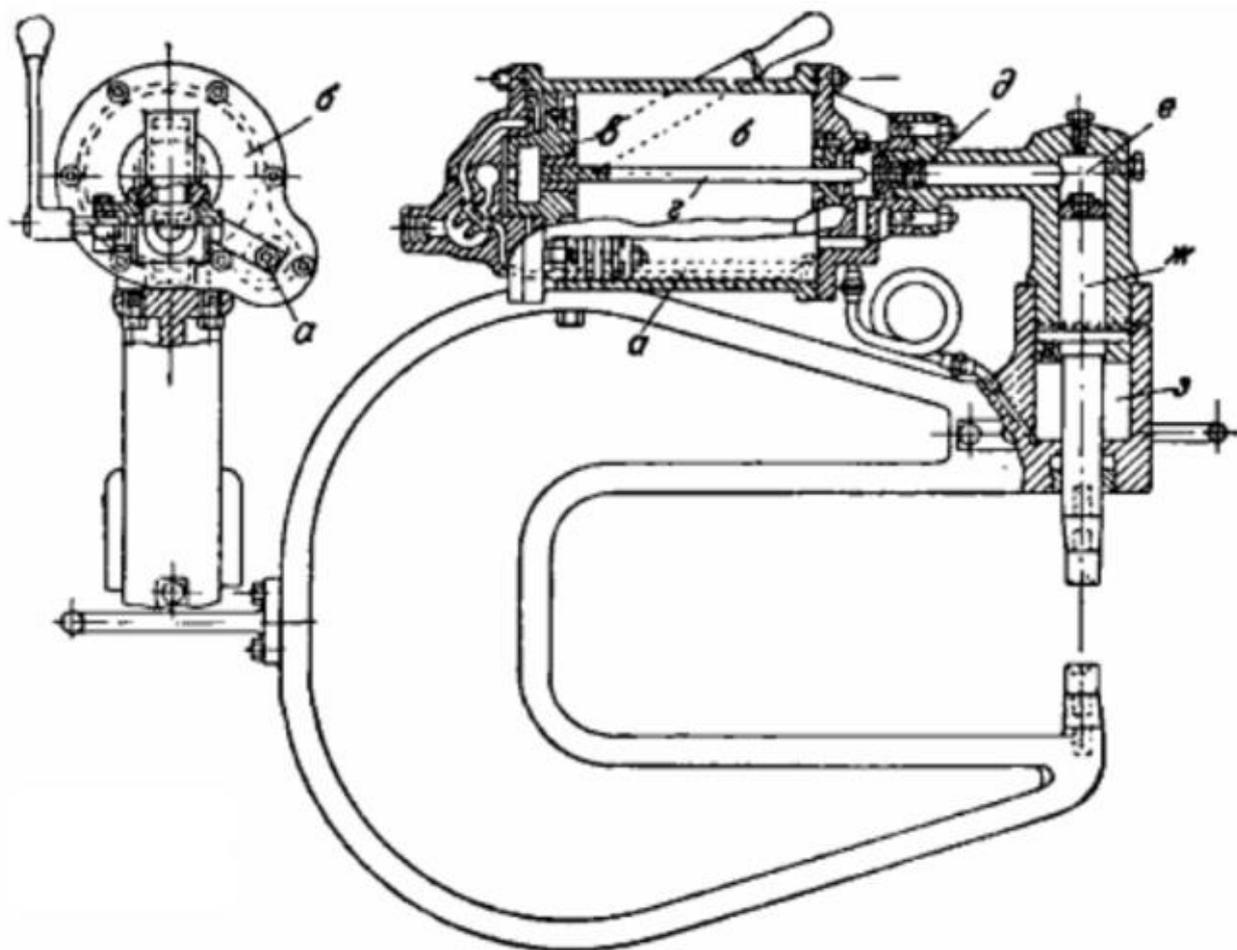
Машинная клепка производится на гидравлических, пневматических, паровых, электрических и трансмиссионных клепальных машинах. Наибольшее распространение получили два первых вида. Клепальные машины делятся на стационарные и переносные» [30]. «Первые состоят из станины с длинным зевом, на верху которой укреплены рабочие органы машины» [30].

«Гидравлическая клёпка, при правильном выборе рабочих давлений и продолжительности клёпки, является одной из самых надёжных, особенно для клёпки крупных диаметров, при которых она превосходит ударную. Однако, неправильности в отношении выбора значений этих двух факторов могут совершенно уничтожить ее преимущества, поэтому над ними необходим самый тщательный контроль. Обычно он осуществляется при помощи самопишущих манометров, регистрирующих как высоту применявшегося давления, так и продолжительность клёпки. На крупных западно-европейских заводах весь контроль клепального процесса бывает централизован в помещении цехового инженера, а рабочий, ведущий клёпку, сообразуется при выборе давления и времени зажатия с особыми таблицами; перед его глазами помещены манометр и электрические секундные часы, стрелка которых

пускается в ход автоматически, по достижении давлением в цилиндрах пресса предельной, назначаемой в зависимости от диаметра клёпки, величины» [30].

Пневматическая клепальная машина с гидравлической передачей изображена на рисунке

Рисунок 6; передача совершается посредством масла, заполняющего без остатка пространство под поршнем цилиндра *a*, равно как и полость *e*.



a, б – цилиндры; *в* – поршень; *г* – плунжер; *д* – лабиринтовый сальник;
е – полость; *ж* – прессовый поршень; *з* – кольцевое пространство

Рисунок 6 – Пневматическая клепальная машина с гидравлической передачей

«Для экономии сжатого воздуха здесь применены два отдельных цилиндра *a* и *б*, из которых меньший служит для опускания обжимки, а поршень *в* большего приводит в движение плунжер *г*; последний входит через

лабиринтовый сальник δ в полость e над прессовым поршнем $ж$, причем эта полость разобщается, таким образом, от цилиндра a . Дальнейшее продвижение плунжера вызывает движение обжимки при увеличенном, в прямом отношении площадей поршня и плунжера, давлении. Для подъема обжимки служит кольцевое пространство» [30] з.

Штамповка и соединение за один шаг: заклепка пробивает все слои листа. Слой на стороне штампа сформирован таким образом, что материал поступает в кольцевую канавку заклепки и образует подрез. Это заклепочное соединение может быть сформирован заподлицо с обеих сторон и идеально подходит для соединения высокопрочных материалов.

Для промышленного применения возможны несколько вариантов исполнения клёпочного инструмента: первое это установка клёпочного инструмента на консоли и клёпка детали навесу в захватном устройстве робота. В данном случае все прижимные механизмы для фиксации и позиционирования деталей крепятся на захватном устройстве, делая его чрезмерно тяжёлым. Второе это установка клёпочного пистолета на фланце робота. Данное исполнение уменьшает нагрузку на робота, поскольку прижимные механизмы будут размещаться на станции, однако возникает необходимость подачи заклёпок в инструмент. Первое решение это подача заклёпок через питающий шланг, рисунок

Рисунок 7а. Второе решение это установка специальной питающей станции, к которой робот будет подносить инструмент и загружать заклёпки, рисунок Рисунок 7б.

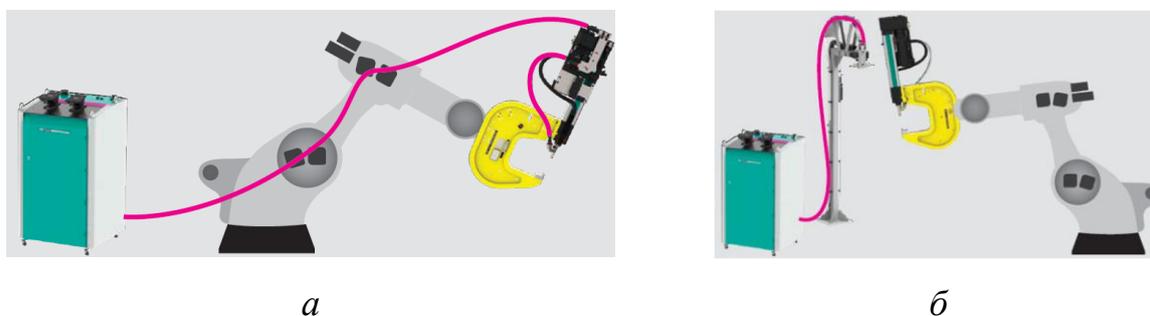


Рисунок 7 – Способы монтажа клёпочного пистолета

Для рассматриваемого технологического процесса клёпки применена технология соединения сплошными пробойными заклёпками. Пуансон проталкивает заклёпку через слои листового металла до тех пор, пока заклёпка не окажется на одном уровне с поверхностью детали со стороны пуансона. Во время последующих перепечаток пуансон и стриппер прижимают материалы к кольцу штампа для тиснения. Материал со стороны штампа затекает в кольцевую канавку заклёпки, и создается соединение с геометрическим замком и принудительной посадкой. На рисунке Рисунок 8 представлена последовательность соединения сплошными пробойными клёпками, цифрами указаны этапы клёпки.

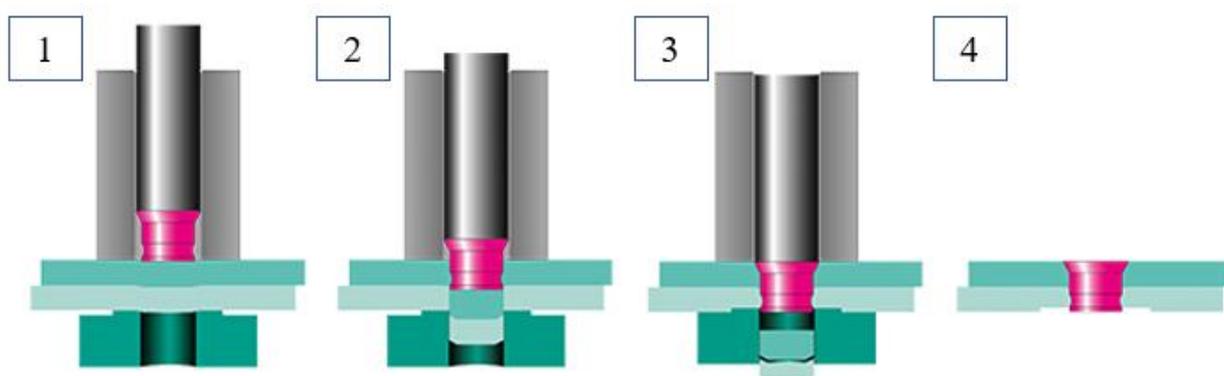


Рисунок 8 – Последовательность соединения сплошными пробойными клёпками

«Анализ исходных данных и технологического процесса позволил определить основные элементы оборудования, участвующие в процессе разработки сборочной линии» [19, 20], а также проанализировать и подобрать подходящую для рассматриваемого технологического процесса метод соединения деталей клёпками. Определить последовательность соединения деталей точечной контактной сваркой и произвести распределение точек сварки по участкам сборки.

2 Фиксация и позиционирование деталей

В процессе транспортировки, нанесения клеевого состава, сварки деталей главная задача заключается в точном позиционировании и надёжной фиксации деталей, для устранения погрешности стыковки деталей и повышения качества сборки. Для этого предусмотрены конструктивные элементы, позволяющие в разных пределах по силе прижимать детали посредством пневматики.

2.1 Расчёт усилия прижима пневматических зажимов

«Для определения конкретного типа зажима необходимо определить требуемую силу зажима (F). Требуемое усилие деформации было установлено опытным путём и по результатам опыта была выведена упрощённая формула силы зажима» [4, 5, 23, 28, 30]:

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

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 Рисунок 9, [4, 7, 20]:

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

где l – длина рычага;

F_s – сила зажима;

M – крутящий момент

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

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

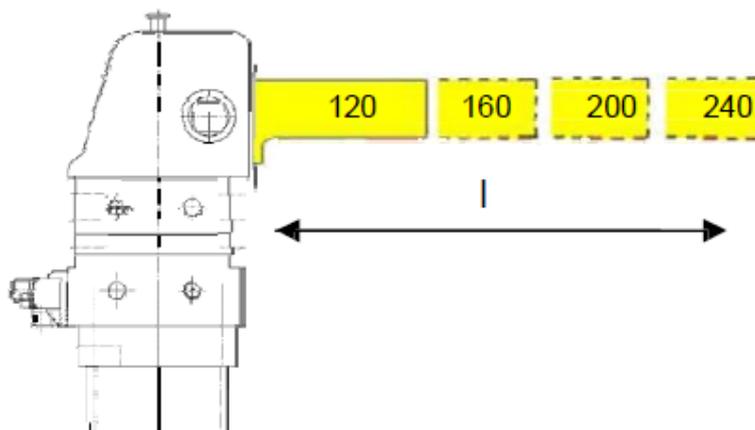


Рисунок 9 – Определение длины зажимного рычага

Для исходной автодетали места зажима имеют толщину металла 3мм.
По формуле (1) рассчитаем требуемое усилие зажима» [4, 14, 20]:

$$F = 300 \cdot (2)^3 = 2400\text{Н}$$

По формуле «(3) определим момента зажима:

$$M_s = 2400 \cdot 88 \cdot 10^{-3} = 211,2\text{Нм}$$

По полученному значению определяем из каталога тип применяемого зажима: V63.1 (рисунок Рисунок 10)» [16, 20].

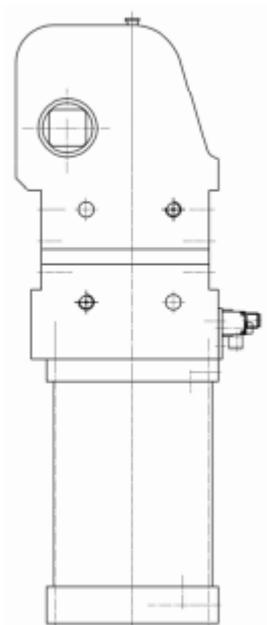


Рисунок 10 – Зажим с рычажным механизмом V63.1

Характеристики «выбранного зажимного механизма: диаметр цилиндра 63мм; момент зажима 380Нм; вес 5,7 кг; расход воздуха 500 см³.

Для фиксирующего элемента типа позиционирующий цилиндр расчёт усилий не требуется, поскольку позиционирующий цилиндр изготавливается по диаметру отверстия и служит для предотвращения поворота детали в плоскости» [20] прижима.

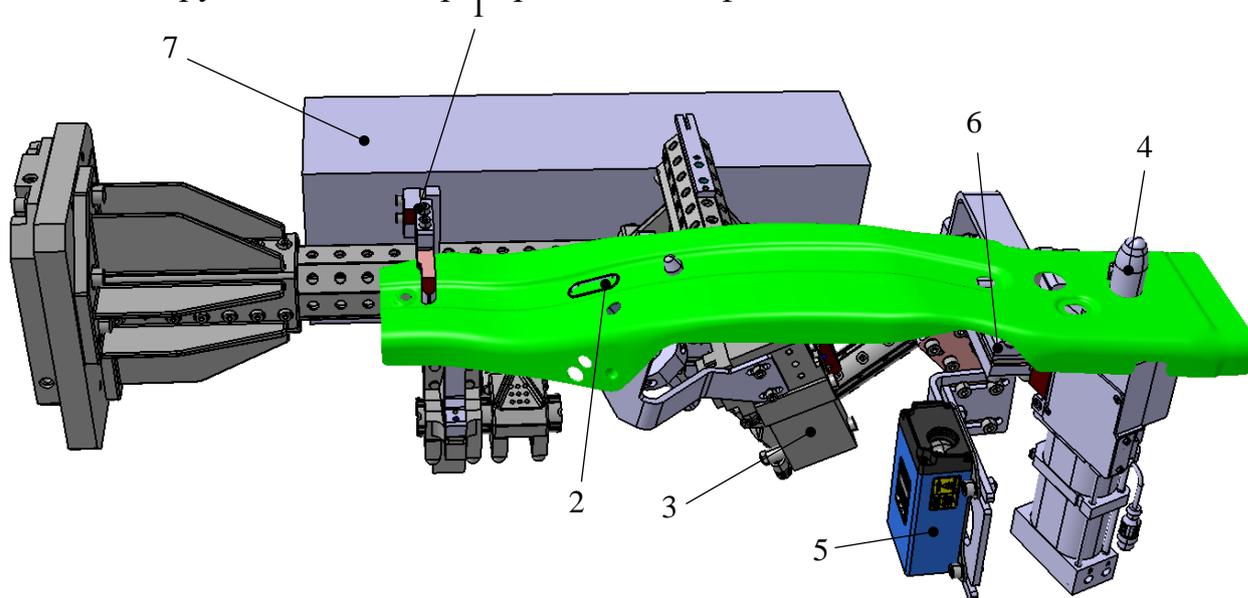
2.2 Захватно-транспортирующие устройства

Рассматриваемый участок сборки предполагает разработку двух транспортирующих и одного захватного устройств. Захватное устройство необходимо для транспортировки и нанесения клеевого шва на деталь. Транспортирующее устройство будет только переключать детали между технологическими станциями.

Проектирование захватного и транспортирующих устройств «базируется на Евро-грейферной системе (EURO-Gripper-System (EGT)) [12, 28, 30] и

представляет собой сборку из модулей стандартных компонентов» [20]. По составленной спецификации стандартных компонентов формируется закупочная ведомость и подробный сборочный чертёж. Данная информация передаётся на производство, где в ручном режиме происходит сборка необходимых устройств и их подключение к промышленным роботам.

На рисунке Рисунок 11 представлено захватное устройство для нанесения клеевого шва на нижнюю усилительную пластину. По причине расположения клеевых швов (рисунок Рисунок 2) при разработке данного устройства было исключено использование более чем одного прижимного механизма. Вместо этого была использована вакуумная присоска и позиционирующий цилиндр с крючком для фиксации.



- 1 – Пневматический зажим; 2 – Вакуумная присоска; 3 – Пневматический позиционирующий цилиндр; 4 – Пневматический позиционирующий цилиндр с фиксирующим крючком; 5 – Датчик отслеживания детали; 6 – Индуктивный датчик наличия детали в захватном устройстве; 7 – Пневматический остров для управления захватным устройством

Рисунок 11 – Захватное устройство для нанесения клеевого шва:

Принцип работы позиционирующего цилиндра с крючком заключается в пневматическом выдвигении крючка, после позиционирования детали и

надёжной фиксации детали между плоскостью основания цилиндра и крючком. На рисунке Рисунок 12 представлено открытое *а* и закрытое *б* положения крючка цилиндра.

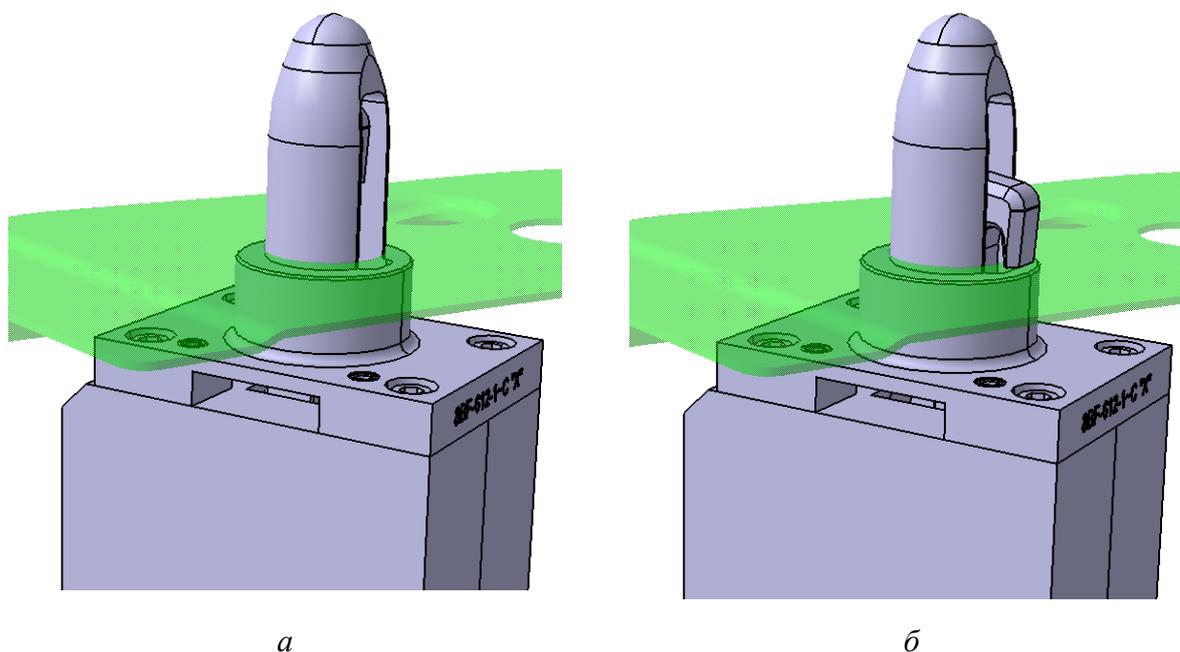


Рисунок 12 – Открытое (*а*) и закрытое (*б*) положения крючка позиционирующего цилиндра:

2.2 Датчик расстояния

В соответствии с технологическим процессом детали на начальном этапе поступают на участок сборки в специальной тележке, уложенные стопкой в один ряд. На рисунке Рисунок 13 представлен внешний вид разработанной тележки для передачи деталей на рабочий участок сборки. Детали укладываются на тележку вручную, после чего робот забирает одну деталь, наносит на неё клеевой шов и передаёт на следующий этап сборки.

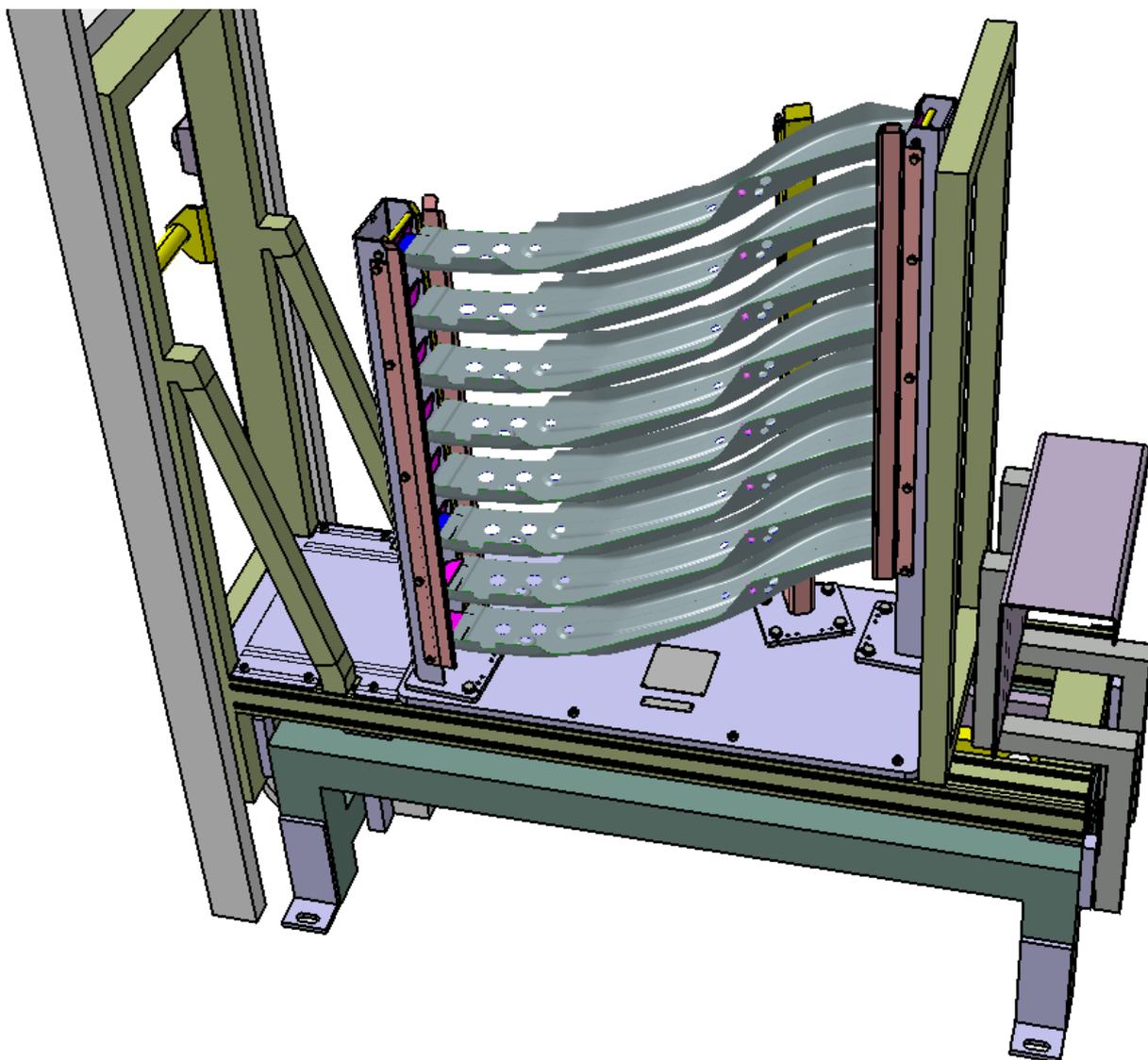


Рисунок 13 – Тележка для передачи деталей на сборочный участок

На одной тележке размещается 8 деталей, позиционирование деталей происходит за счёт специальных направляющих, расположенных по концам тележки. Детали не имеют фиксации и лежат на небольших площадках, которые складываются, если снять с них деталь. Датчик расстояния, расположенный, на захватном устройстве служит для того, чтобы вычислять расстояние до верхней детали и сообщить контроллеру когда необходимо включить фиксирующие механизмы для забора детали.

В качестве такого устройства был выбран лазерный датчик расстояния SICK DT500-A111, рисунок Рисунок 14.



Рисунок 14 – Лазерный датчик расстояния SICK DT500-A111

Обеспечивает точные показатели в диапазоне 0,2-30 м и стабильные результаты, точное измерение до 70 м. Датчик подключается через разъем m12. Имеет аналоговый выходной сигнал по току 0-20 мА. Напряжение — 10-30 DC. Дальномер заключен в прочный корпус, для изготовления которого использован металл.

Технические характеристики датчика:

Размер светового пятна, мм: 10 x 45 x 100

Класс лазера: 2

Страна происхождения: Германия

Серия: Dx500

Диапазоны измерения расстояния: 20 м ... < 70 м

Дальность измерения Min, м: 0,2

Дальность измерения Max, м: 70

Аналоговый выход по току, мА: 0-20

Вес, грамм: 902

Диапазон измерения, м: 0,2-30

Напряжение питания, В: 10-30 DC

Особенности: Точное измерение до 70 м

Резьба разъема: M12

Соединение: Разъем

Степень защиты: IP65

Тип света: красный свет.

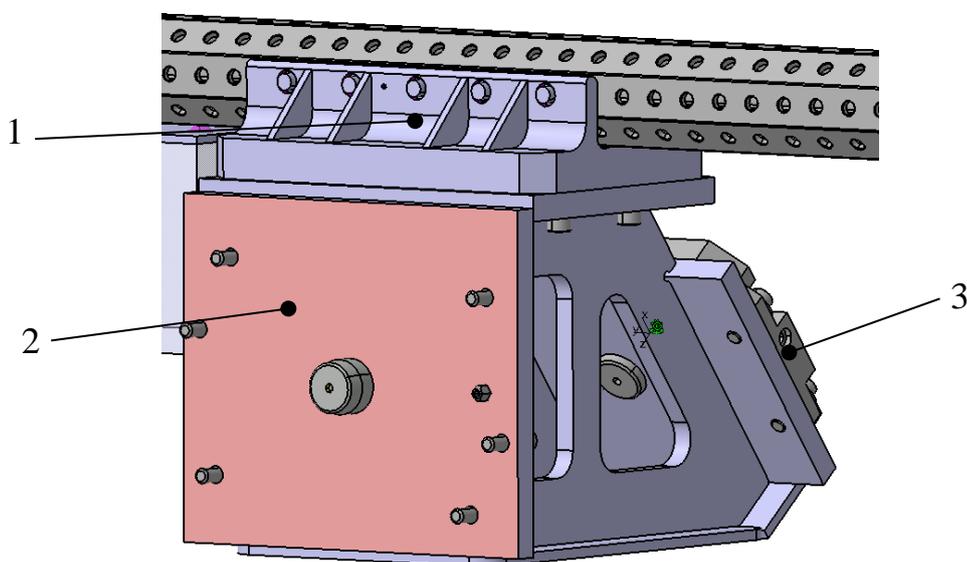
Для калибровки датчика не предусмотрены никакие дополнительные или специальные устройства.

Отслеживание присутствия детали в захватном устройстве осуществляется посредством стандартного индуктивного датчика, настроенного на расстояние 3мм.

2.3 Проектирование захватного и транспортировочного устройств

Проектирование устройств для конкретной технологической операции проводилось посредством формирования облака инструментов, представляющее собой предполагаемую область, которую занимает инструмент в процессе обработки детали. Зная расположение клеевого шва, а также габаритные размеры клеевого пистолета можно определить область пространства, которая будет занята инструментом и свободную область, где можно расположить оснастку для захватного устройства. На рисунке 10 было представлено захватное устройство для нанесения клеевого шва на поверхность детали. Для второго робота предусмотрено выполнение двух технологических операций: транспортировка сборочной детали и точечная контактная сварка. Для комбинирования двух видов инструмента необходимо введение специального монтажного адаптера, позволяющего установку сварочного пистолета и транспортирующего устройства. Адаптер представляет собой сварную металлоконструкцию с тремя посадочными гнездами для фланца робота, для сварочного пистолета, для

транспортирующего устройства, рисунок Рисунок 15 – Адаптер комбинированного инструмента:.



- 1 – Плата крепления оснастки транспортирующего устройства;
- 2 – Плата крепления сварочного пистолета;
- 3 – Плата крепления фланца 6-ой оси робота;

Рисунок 15 – Адаптер комбинированного инструмента:

Комбинирование разных устройств позволяет сократить время работы робота, однако, данный шаг требует учитывать увеличение нагрузки на оси промышленного робота. Альтернативный способ применения двух функций: транспортировки и сварки одним роботом является смена инструмента. В таком случае робот сначала производит сварку всех точек деталей, затем меняет инструмент со сварочного пистолета на транспортирующее устройство, переносит деталь на следующий этап сборки и снова меняет инструмент, чтобы начать следующий цикл в стартовом положении. В данном случае такое решение весьма затруднительно, поскольку для однократной смены инструмента роботу требуется порядка 14-18 секунд времени от цикла, а с учётом двукратной смены это время составляет 28-36 секунд. Если вписать данные действия в рабочий цикл робота, тогда придётся уменьшать время на

другие операции, такие как сварка. То есть необходимо уменьшать количество точек сварки, что также приводит к большим проблемам и необходимости ввода ещё одного робота, который бы осуществлял доварку исключённых точек. Поэтому проектирование адаптера, позволяющего сочетать несколько технологических операций без столкновений с окружающим оборудованием является приоритетной задачей.

2.4 Проектирование сварочной станции

Анализ сварочных точек для детали и формирование облака инструментов позволило определить свободные области для расположения оснастки и прижимных механизмов сварочной станции и транспортирующего устройства. На рисунке Рисунок 16 представлено облако инструмента для 2-ого робота. Из рисунка видна область пустого пространства, где свободно может быть размещены пневматические прижимы и позиционирующие цилиндры.

Также расположение оснастки должно учитывать положение прижимных механизмов для транспортирующего устройства, поскольку после окончания сварки деталей, робот должен забрать и переместить деталь на следующий этап сборки. Поэтому после завершения проектирования сварочной станции необходимо произвести анализ свободного пространства и сформировать конструкцию крепления транспортирующего устройства, которая согласуется с геометрией станции и не будет возникать столкновений в процессе взаимодействия двух устройств.

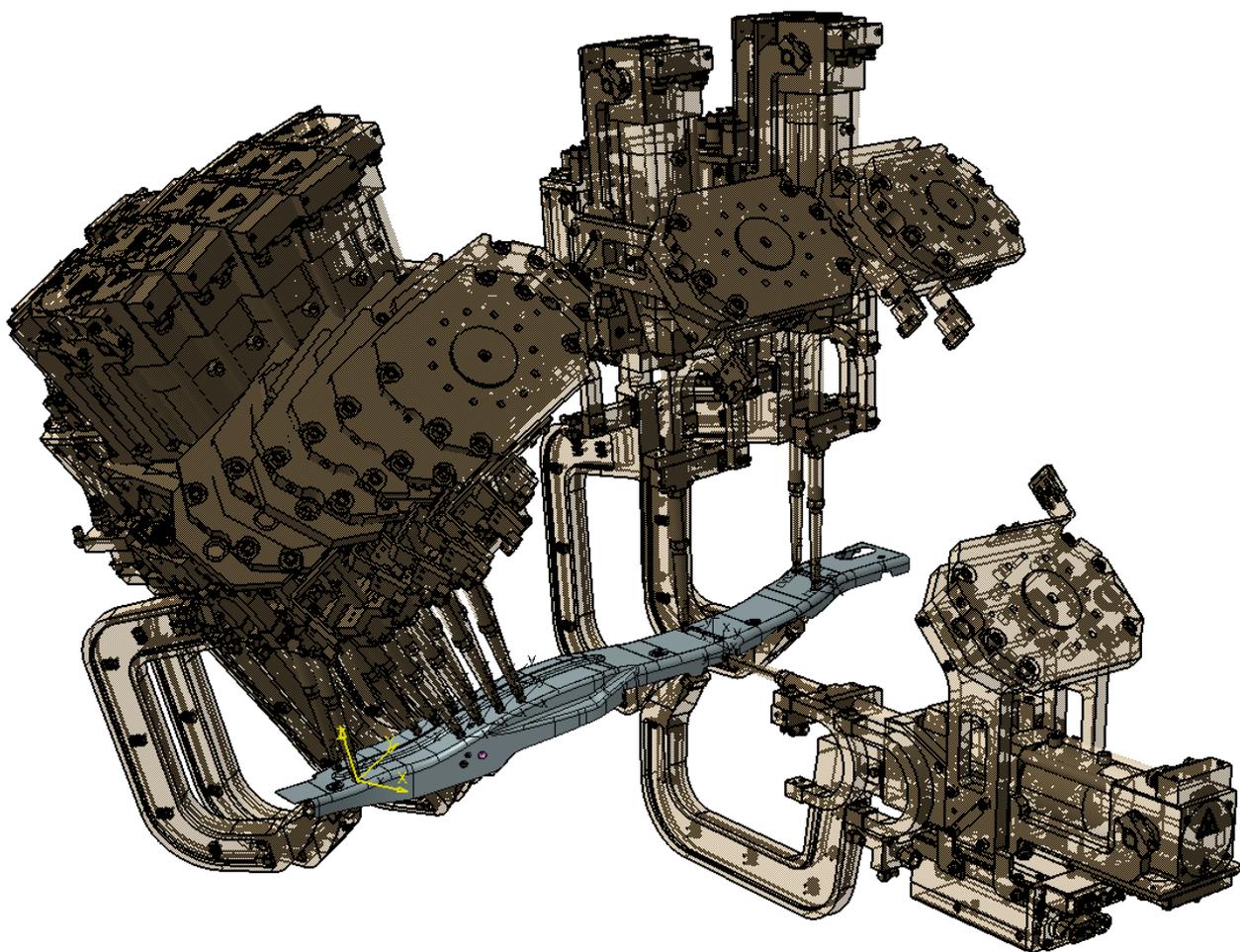


Рисунок 16 – Облако инструмента для сварочной станции

После формирования геометрии сварочной станции необходимо сформировать пневматический план работы устройств, позволяющий менять положения пневматических зажимов для различных действий, производимых на сварочной станции. В соответствии с технологическим процессом в начале рабочего цикла станция находится в открытом положении, после установки деталей станция закрывается и начинается процесс сварки. Далее в случае необходимости, после сварки всех геоточек, возможно открытие части зажимов для того, чтобы предоставить больше свободного места сварочному пистолету. После окончания сварки необходимо открыть все зажимы для стыковки станции с транспортирующим устройством. После того как деталь

будет убрана со станции, последняя остаётся в открытом положении и цикл начинается с начала.

2.5 Пневматический план работы сварочной станции

Для формирования пневматического плана работы устройства все механизмы, участвующие в технологическом процессе должны быть пронумерованы, чтобы в процессе сборки и монтажа пневматики на производстве избежать ошибок с подключением. На рисунках Рисунок 18, 18 показана маркировка исполнительных механизмов для сварочной станции.

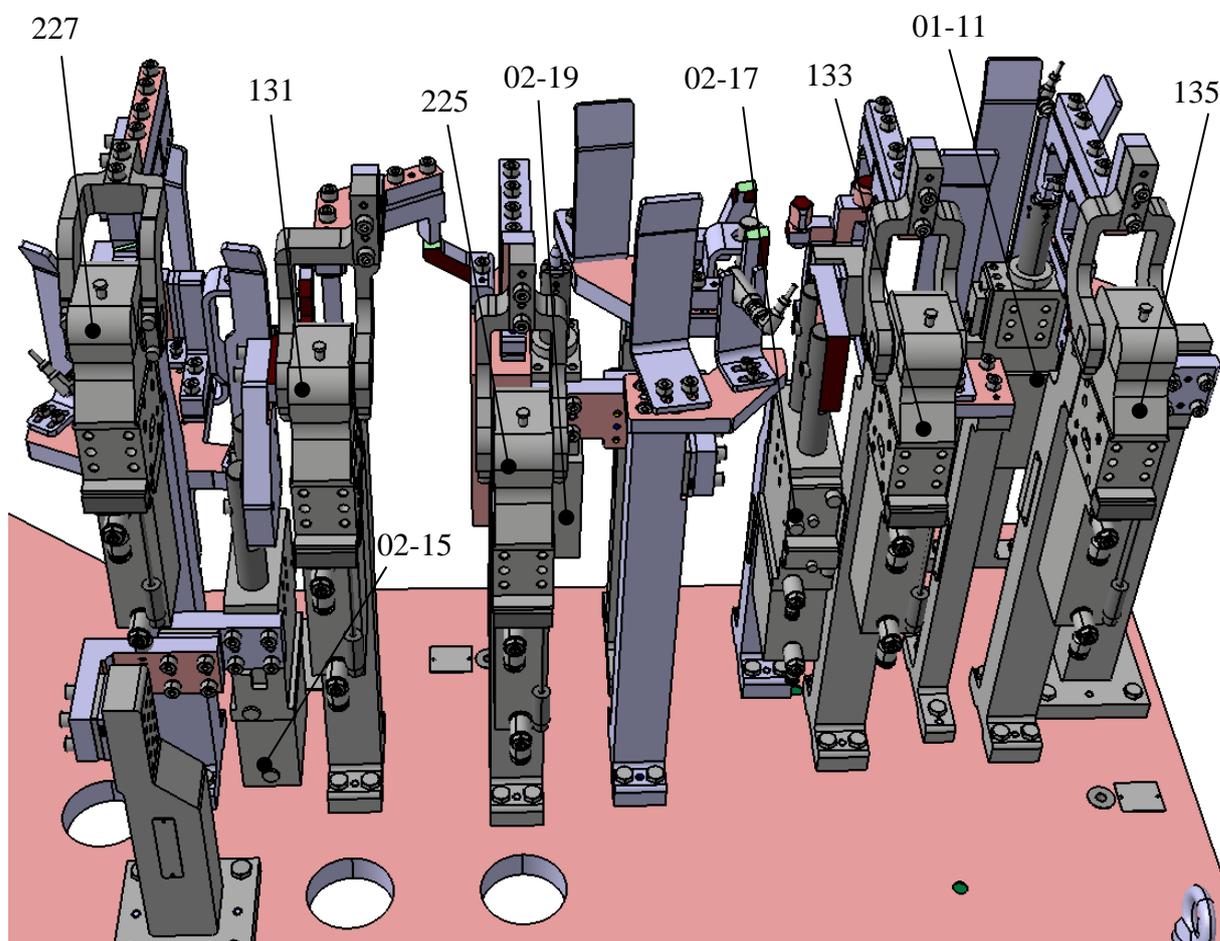
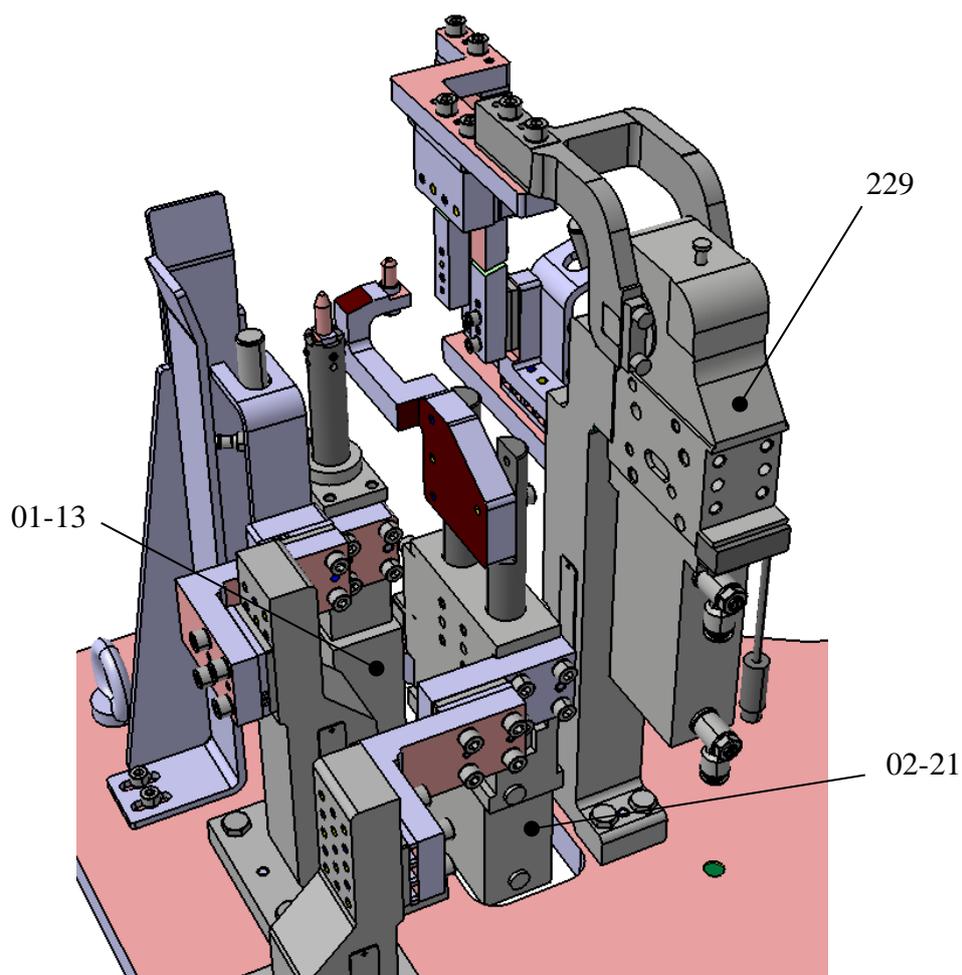


Рисунок 177 – Маркировка пневматических механизмов для сварочной станции



б

Рисунок 18 – Маркировка пневматических механизмов для сварочной станции

После формирования нумерации пневматических механизмов, был составлен план работы устройства, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Пневматический план работы сварочной станции

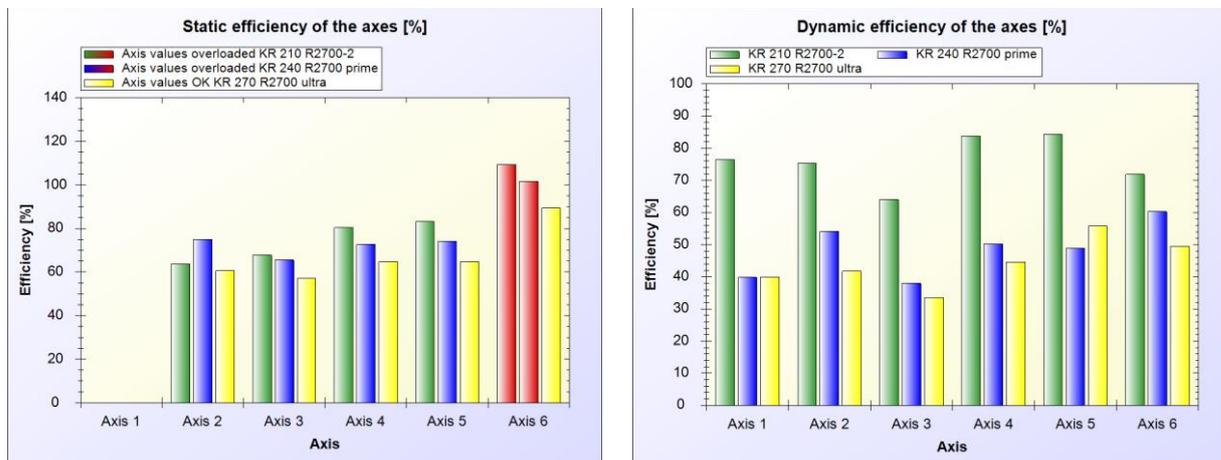
Номер группы	Положение клапана	Стартовое положение станции	Загрузка деталей роботом	Загрузка детали рабочим	Операция точечной контактной сварки	Операция доварки остаточных точек	Транспортировка детали
01-11	Задвинуто						
	Выдвинуто						
01-13	Задвинуто						
	Выдвинуто						
02-15	Задвинуто						
	Выдвинуто						
02-17	Задвинуто						
	Выдвинуто						
02-19	Задвинуто						
	Выдвинуто						
02-21	Задвинуто						
	Выдвинуто						
135	Закрытое						
	Открытое						
225	Закрытое						
	Открытое						
227	Закрытое						
	Открытое						
229	Закрытое						
	Открытое						
131	Закрытое						
	Открытое						
133	Закрытое						
	Открытое						

Из пневматик плана видно, что в начале цикла все зажимы станции находятся в открытом положении, а позиционирующие цилиндры в выдвинутом состоянии для того, чтобы было легче осуществить позиционирование новых деталей. Первую деталь закладывает робот, следом за ним детали закладывает рабочий. После того как рабочий покинет зону работа, пневматические зажимы станции закрываются и детали готовы к сварке. В первую очередь робот сваривает геоточки, отвечающие за геометрию сборки и обеспечивающие точность соединения деталей. Однако, в процессе сварки вспомогательных точек некоторые поддерживающие механизмы мешают инструменту произвести сварку. В таком случае было принято решение открыть и задвинуть мешающие механизмы. Сделать это можно только после того, как будут сварены все геоточки. Данное действие отображено на пневматическом плане, где видно, что после операции сварка было задвинуто два цилиндра и открыто три зажима. После окончания сварки всех точек все зажимы открываются и все цилиндры задвигаются, полностью освобождая деталь. После анализа работы станции было определено количество пневмо-распределителей, работающих по общим механизмам. Всего на 12 механизмов требуется 4 пневматических распределителя.

2.6 Определение нагрузки на оси промышленного робота

Для расчёта осевой нагрузки на оси промышленного робота была использовано специализированное программное обеспечение Kuka.Load v5.0. Данное программное обеспечение находится в свободном доступе на сайте производителя. Главным критерием подбора робота является предел осевой нагрузки не более 90% на одну ось. Далее приведён результат расчёта осевой нагрузки для сварочно-транспортного робота с комбинированным набором инструментов.

На рисунке Рисунок 199 представлен результат сравнения 3-х нагрузочных характеристик промышленных роботов грузоподъемностью 210кг, 240кг и 270кг:



a

б

a – статическая нагрузка; *б* – динамическая нагрузка

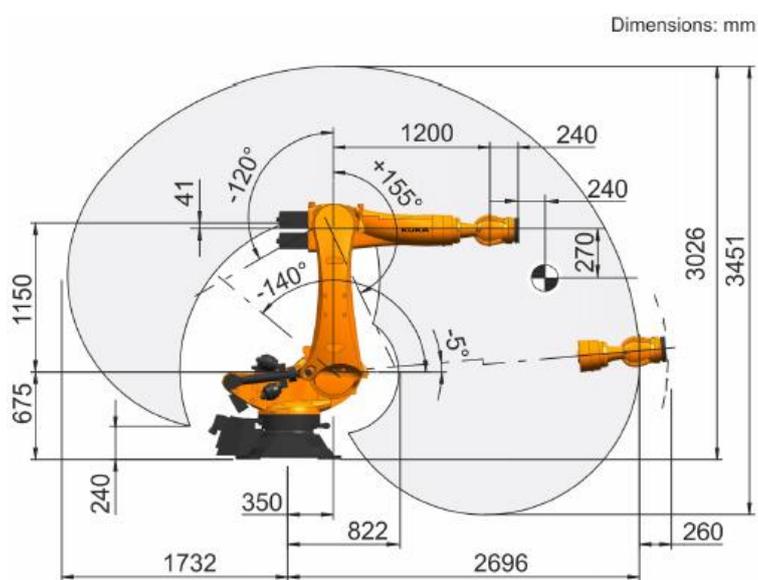
Рисунок 199 – Сравнение нагрузочной характеристики осей промышленного робота

Из рисунка 19*a* видно, что роботы с грузоподъемностью 210кг (зелёный столбец) и 240 (синий столбец) не выдерживают статической нагрузки на 6-ю ось. Для робота грузоподъемностью 270кг статическая нагрузка на 6-ю ось в процессе работы составляет 89,41%. Данное значение укладывается в основные пределы до 90%, таким образом промышленный робот грузоподъемностью 270кг и достижимостью 2700мм является минимально допустимым для выполнения требуемых технологических операций.

Основные характеристики промышленного робота KUKA KR-270-R2700:

Номинальная полезная нагрузка	270 кг
Максимальный рабочий радиус	2696 мм
Номинальная грузоподъемность	320 кг
Повторяемость позы (ISO 9283)	$\pm 0,06$ мм
Монтажное положение	Пол, подставка
Площадь установки	830 мм x 830 мм
Степень защиты (IEC 60529)	IP65
Степень защиты запястья робота (IEC 60529)	IP65
Вес	1129 кг
Система управления	KRC 4

На рисунке 20 представлен график рабочей области робота, позволяющий оценить рабочий объем пространства, который охватывает робот в процессе движения.



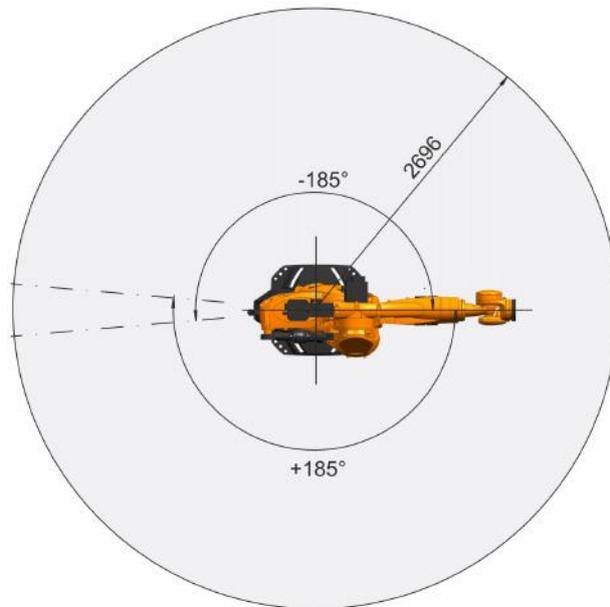


Рисунок 20 – График рабочей зоны робота KR270R2700

Из рисунка видно, что в случае установки робота на консоль высотой 500мм, достижимость позволяет ему работать на высоте 400мм ниже чем основание крепления к консоли.

2.7 Описание движений промышленного робота

Движения промышленного робота можно разделить на две составляющие [22, 35], отличающиеся точностью и принципом обработки координат точек движения.

«Основной тип движения это РТР – Point-to-point и Line. «Первый тип движения воспринимается контроллером как простое перемещение робота из одной точки в другую по оптимальным значениям по осям. То есть контроллер сам просчитывает необходимые обороты приводов для необходимых осей и их комбинации. При этом основной приоритет движения отдаётся осям робота, в ущерб траектории движения, фактически траектория движения не рассчитывается, поскольку всё управление происходит за счёт изменения

углов осей робота. Такой тип движения может выполняться без ограничений и с максимальными скоростями робота, но требует повышенного внимания, поскольку высока вероятность столкновений с близко стоящим оборудованием. При этом в процессе движения контроллер старается минимизировать количество движимых осей.

Второй тип движения Line – линейное движение. В данном типе движения приоритет движения отдаётся не осям, а траектории и точности движения по траектории. Здесь не допускается никакое отклонение и контроллер рассчитывает по заданной траектории движения необходимые повороты осей. При этом существует ряд ограничений, накладываемых на линейное движение. В связи с тем, что при данном типе движения основной приоритет у траектории, то контроллеру приходится задействовать все 6 осей для того, чтобы выполнить движение. Это приводит к тому, что скорость движения робота снижается без возможности её увеличить. К тому же контроллер рассчитывает углы поворотов осей исходя из того, где робот должен находиться через 0,5 секунды, то есть расчёт осей производится наперёд с учётом будущего движения. Всё это приводит к повышенной нагрузке на контроллер. Данный тип движения применяется только там, где необходима высокая степень точности операции. Как правило это нанесения клея, операция загибки, измерительный операции» [15, 20, 26, 33].

В результате формирования компьютерной модели транспортирующих и захватного устройств, получена спецификация соединительных деталей и схема сборки захватного устройства на производстве. Рассчитано и подобрано оборудования для надёжной фиксации и позиционирования детали в захватном и транспортирующем устройствах. На основании проведённого расчёта динамической и статической нагрузки на оси роботов, была определена подходящая модель промышленного робота, удовлетворяющая условиям технологического процесса.

3 Технологическое оборудование процесса сборки

3.1 Определение типа сварочного пистолета

По завершению процесса проектирования транспортирующего и захватного устройств, необходимо определить тип сварочного пистолета, подходящего для выполнения технологического процесса. Подбор пистолета осуществляется на основании нескольких параметров: прижимное усилие электродов, размер сварочного пятна, геометрическая совместимость с рабочей станцией и грузоподъемность. В результате был выбран сварочный пистолет F210866850025579_c_zange, представленный на рисунке Рисунок 201, массой 48,167кг и рабочим ходом электродов 137,5мм. Тип подвижных электродов С, прижимное усилие электродов составляет 4100Н, диаметр сварочного пятна 16мм.

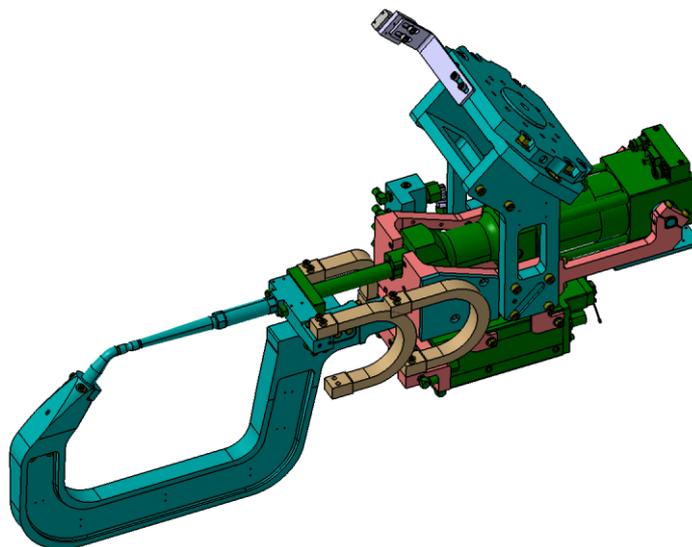


Рисунок 201 – Сварочный пистолет F210866850025579_c_zange

Определение правильной геометрии электродов для обрабатываемых деталей можно проверить по плоскому сечению в точках сварки. Данный метод позволяет легко и быстро оценить проблемные места и увидеть

подходит ли геометрия электродов для сварки всех необходимых точек. На рисунке Рисунок 212 представлено плоское сечение электродов сварочного пистолета в точках сварки, из рисунка видно, что геометрия детали не сложная и подобранный угол загиба нижнего (синего) электрода достаточен для устранения столкновения с нижней деталью.

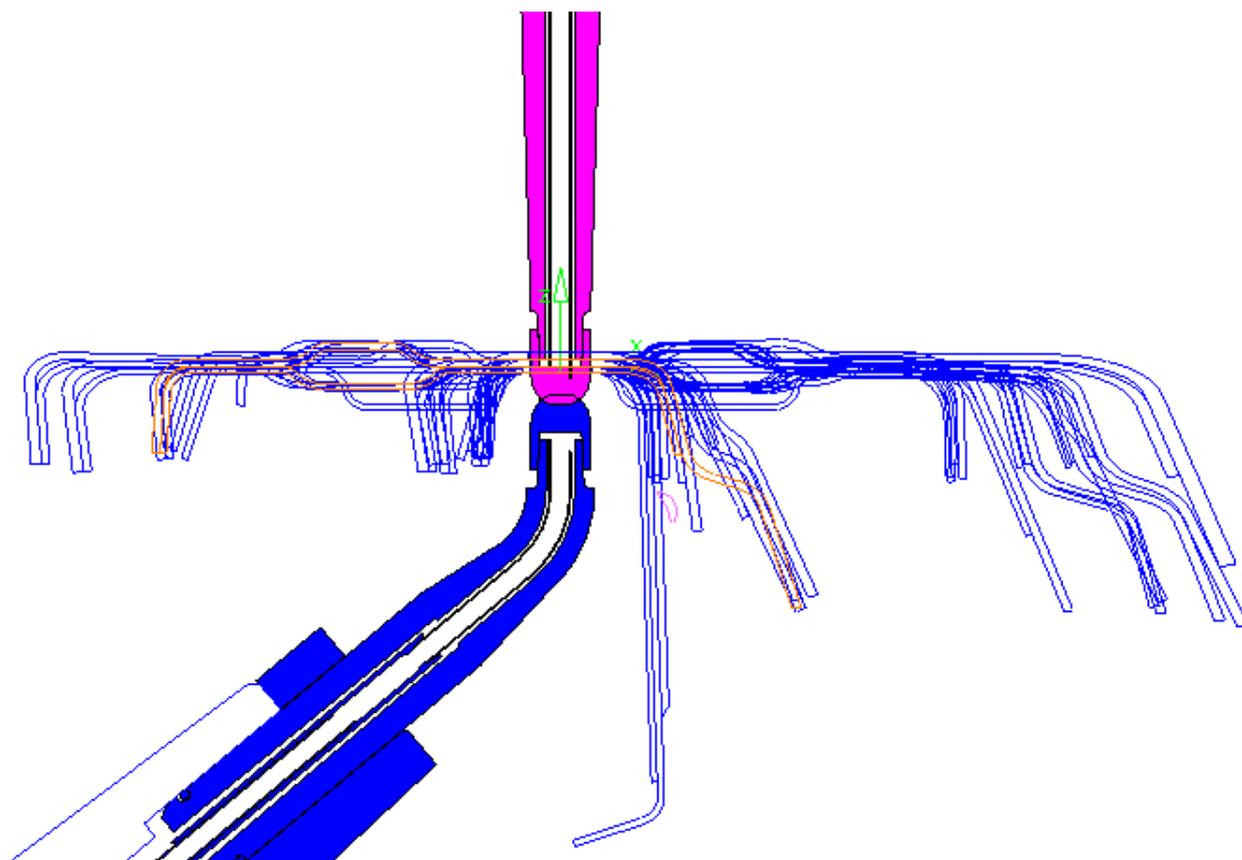


Рисунок 212 – Плоское сечение сварочных точек и электродов пистолета

Однако, недостатком применения метода плоского сечения является то, что в объёмной обстановке есть вероятность столкновения по третьей оси, которая не учитывается на плоскости. Поэтому нельзя полностью доверять данному методу и необходимо вручную отслеживать ситуацию с каждой отдельной точкой сварки во избежание столкновений или повреждения детали в процессе сварки.

3.2 Конфигурация робота в процессе сварки и нанесения клея

Следующий этап проектирования рабочего участка сборочного цеха, это проверка положения осей роботов в процессе сварки и нанесения клеевого шва. Для оценки положения робота по ходу технологического процесса необходимо учитывать следующие особенности:

- отсутствие сингулярности 5-й оси робота;
- запас достижимости для каждой оси робота должен составлять не менее 10 градусов;
- в процессе сварки робот не должен приближаться подвижными частями к окружающему оборудованию ближе чем на 10мм для транспортирующего устройства и сварочного пистолета, и на 100мм для остальных осей и того, что на них закреплено.

Рассмотрим положения сварочного робота в процессе операции точечной контактной сварки. На рисунке Рисунок 223 представлен общий вид положения роботов в производственных условиях. Стрелочками показано направление движения деталей. Из рисунка видно, что сначала детали поступают в рабочую зону на тележках (жёлтая зона), откуда робот забирает по одной детали и наносит на поверхность детали клеевой шов (синяя область), затем устанавливает деталь в сварочную станцию (фиолетовая область), после окончания сварки сварочным роботом, деталь перемещается на следующую станцию.

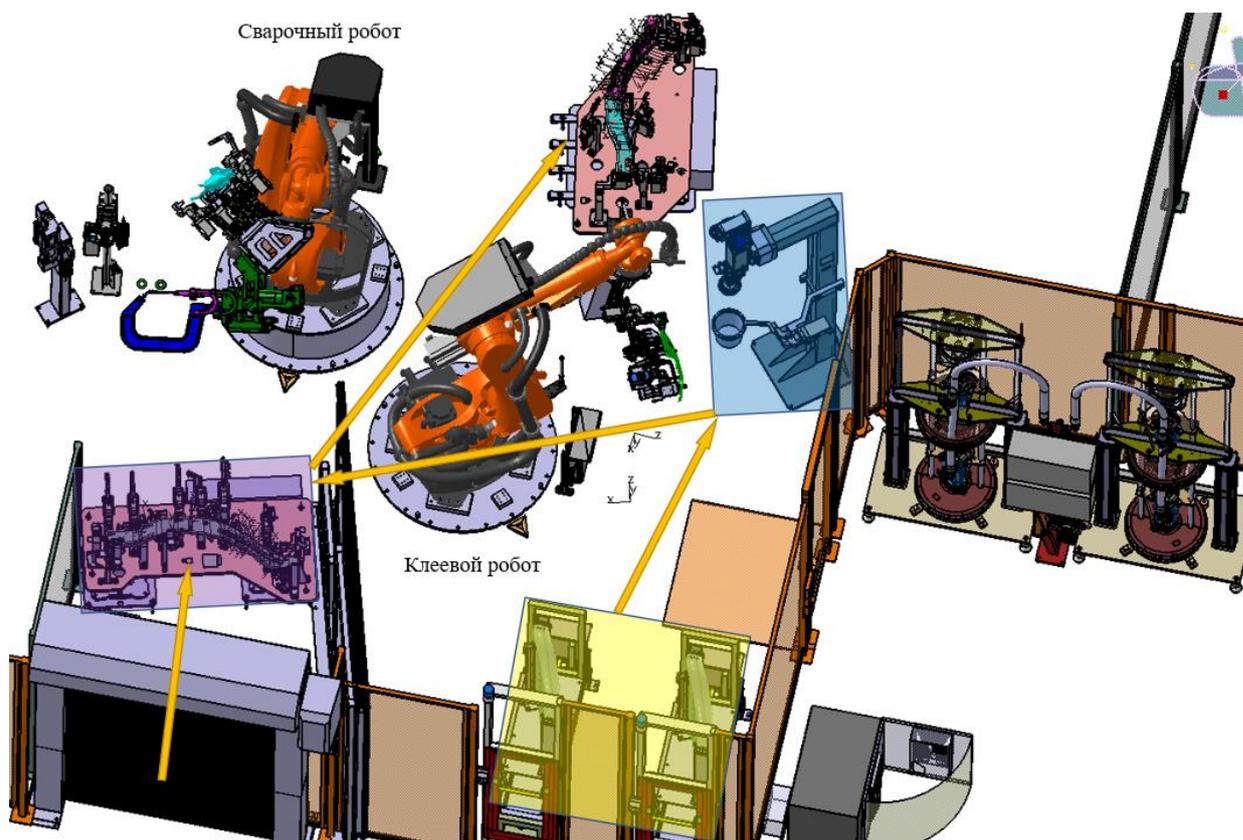


Рисунок 223 – Общий вид положения сварочного и клеевого роботов

В ходе проектирования процесса сварки было обнаружено столкновение головы робота с пневматическим зажимом транспортирующего устройства, рисунок Рисунок 23. Сложившуюся ситуацию можно исправить несколькими способами: изменить положение детали в сварочной станции таким образом, чтобы отвернуть положение робота от зажима. Однако, учитывая, что детали находятся в станции в незакреплённом положении их установка производится в горизонтальном положении. Изменение этого положения приведёт к тому, что на станции необходимо будет ввести несколько дополнительных зажимов и цилиндров для фиксации и позиционирования углового наклона, что отрицательно скажется на эргономике со стороны обслуживающего персонала. Введение дополнительных зажимов уменьшит количество свободного места для манипуляции со сварочным пистолетом. Другим способом устранить данное столкновение можно посредством изменения

конфигурации робота в конкретной точке. Изменение конфигурации приведёт к смене положения приводного блока 6-й оси, рисунок Рисунок 245.

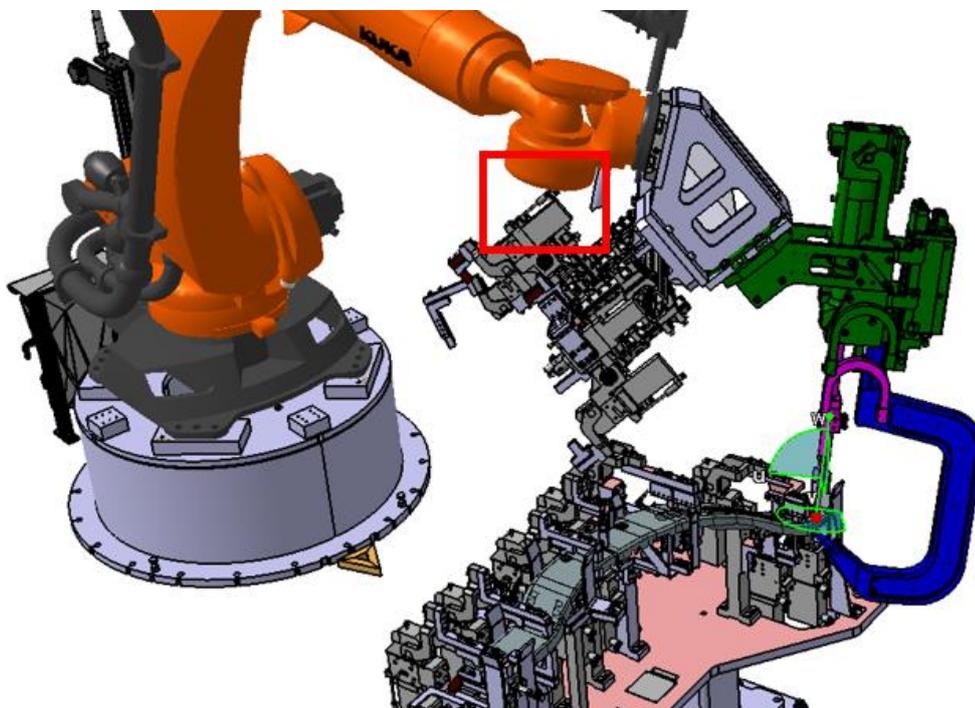


Рисунок 234 – Столкновение головы робота и пневматического зажима

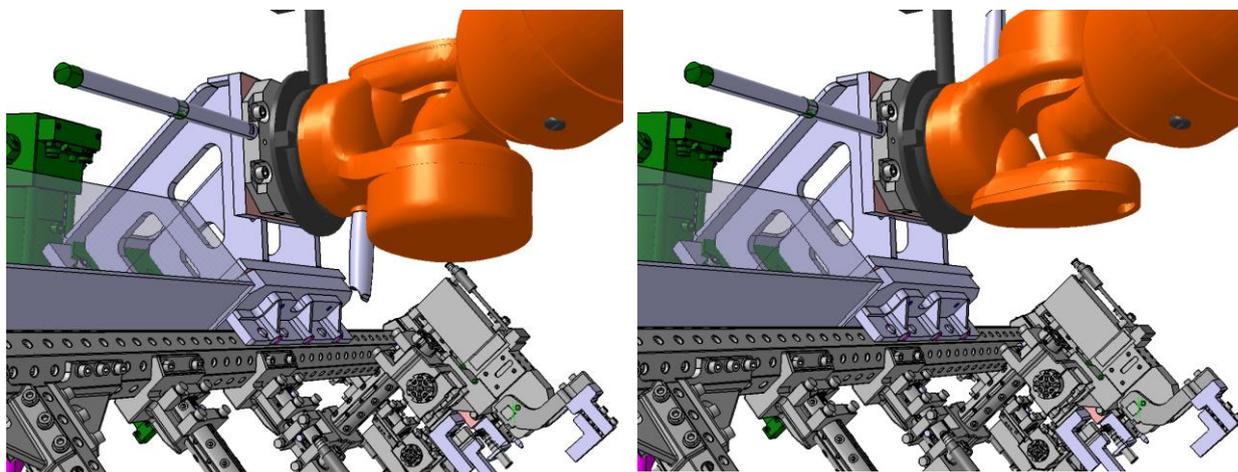


Рисунок 245 – Изменение конфигурации робота в проблемных точках

В процессе нанесения клеевого шва не было обнаружено проблем с конфигурацией робота, связанной с опасным сближением с окружающим оборудованием или сингулярностью 5-й оси.

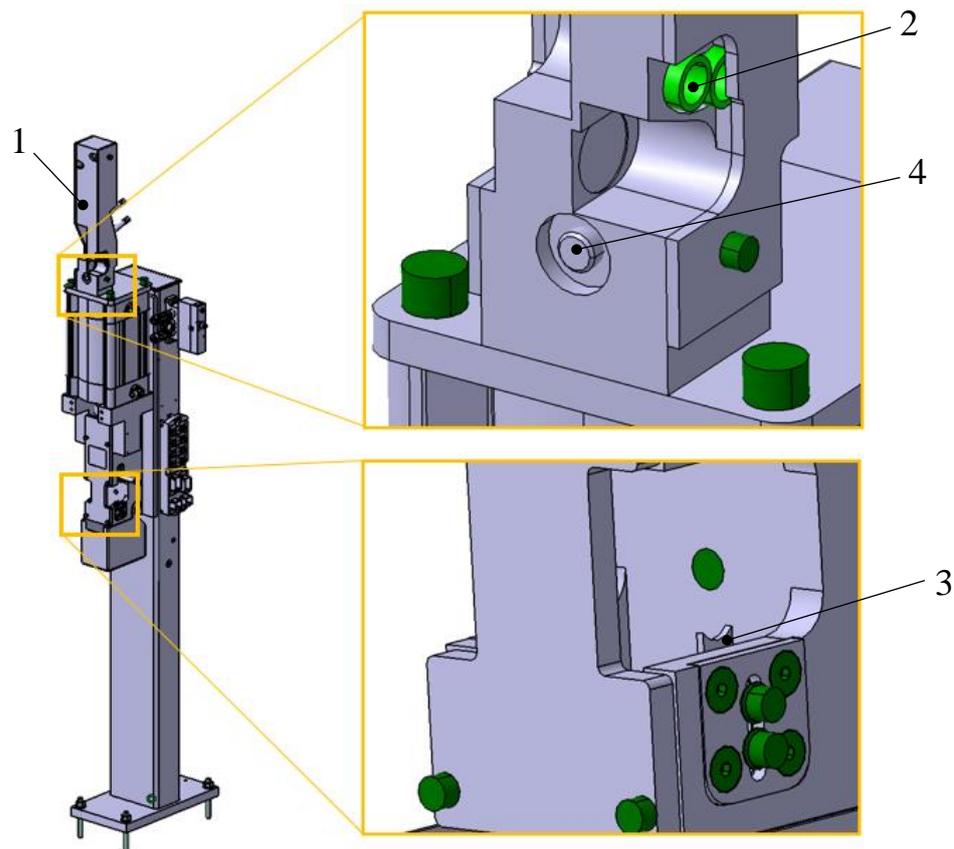
3.3 Обслуживание колпачков сварочного пистолета

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 сначала колпачки затачиваются, а когда износ достигнет предела, тогда колпачки меняются в автоматическом режиме. Данная операция не входит в рабочий цикл, поскольку заточка или замена колпачков происходит один раз за несколько смен.

Каждый робот, который осуществляет точечную контактную сварку должен иметь в свободном доступе две единицы дополнительного оборудования для заточки и замены колпачков. При этом каждый сварочный робот должен иметь возможность свободно и беспрепятственно подходить к устройству заточки колпачков в любое время за пределами рабочего цикла.

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 Рисунок 256 представлено устройство для замены колпачков сварочного пистолета» [15].



1 – емкость для запасных колпачков; 2 – запасной колпачок для пистолета;
 3 – крючок для снятия колпачка с пистолета; 4 – Датчик наличия колпачка;

Рисунок 256 – Устройство для замены колпачков

Перед тем как снимать колпачки, робот подносит пистолет каждым колпачком к датчику 4, после того, как контроллер передаст сигнал о том, что можно снимать колпачки, робот подходит к крюку сначала первым колпачком, затем вторым. После снятия колпачка робот подходит к датчику 4 и проверяет произошло ли снятие колпачков. Только после подтверждения снятия колпачков, робот подходит к запасному колпачку и одевает его на конец электрода, сначала первый, затем второй.

Для заточки колпачков предусмотрено вспомогательное устройство, представленное на рисунке

Рисунок 267. Пистолет вставляет колпачки в отверстия, где фреза снимает тонкий слой колпачков и формирует стандартный размер пятна электродов.

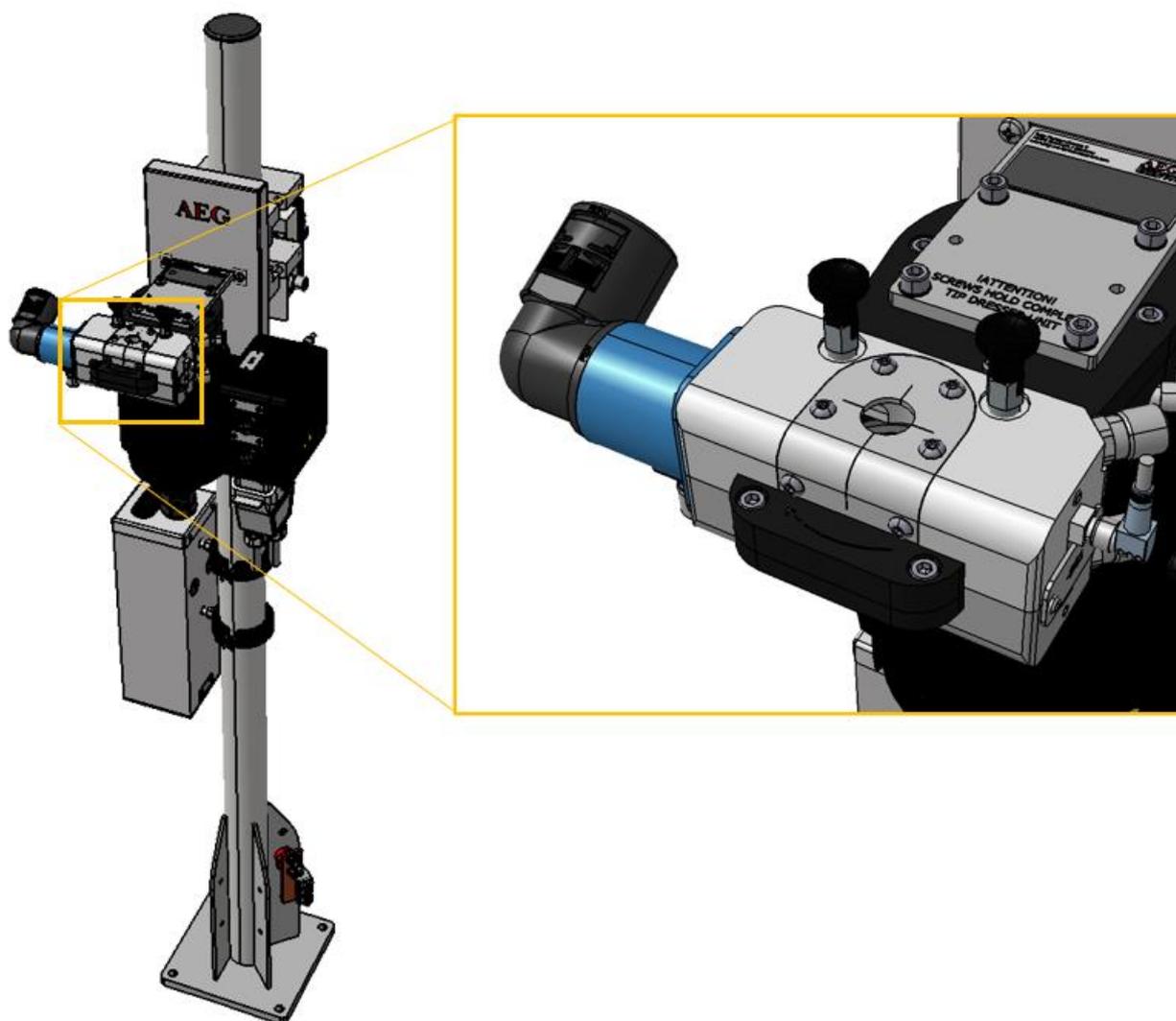


Рисунок 267 – Устройство заточки колпачков

В условиях ограниченного пространства и высокой плотности устройств вокруг робота, в процессе замены колпачков транспортирующее устройство робота опускается ниже уровня расположения кабель-канала. В процессе монтажа кабель-канала необходимо уделить особое внимание данной области.

3.4 Нанесение клеевого шва

На рисунке Рисунок 2 представлено расположение клеевых швов на детали, особенностью нанесения клеевого шва является прямой угол (90°) между плоскостью нанесения клеевого шва и соплом клеевого пистолета. Допустимые пределы отклонения сопла клеевого пистолета от нормали составляют $\pm 18^{\circ}$ по одной оси. В случае отклонения по 2-м осям суммарный угол не должен превышать 18° [8, 35]. Данное отклонение обеспечивает равномерность и непрерывность нанесения клеевого шва в условиях средней линейной скорости движения робота. В процессе нанесения клеевого шва должны выполняться ряд условий: скорость движения робота не должна превышать 200мм/с; на протяжении всего времени нанесения клея, траектория движения должна быть непрерывна и линейна; угол отклонения клеевого пистолета от нормали должен быть не более $\pm 18^{\circ}$ по одной оси; в процессе движения пятая ось промышленного робота не должна достигать интервала значений $-15^{\circ}..+15^{\circ}$.

Ограничение скорости движения робота связано с технологическим процессом нанесения клея, поскольку шов должен иметь определённую толщину, при том, что клеевой насос работает при определённом давлении, если скорость будет больше, то шов будет тоньше или, в случае если скорость будет меньше, то толщина будет больше, чем необходимо.

В соответствии с технологическим процессом, для обеспечения качества соединения двух деталей клеевой шов не должен содержать пустот, для этого необходимо обеспечить непрерывность клеевого шва в процессе нанесения. Линейное движение робота позволяет исключить аппроксимацию движения и гарантирует перемещение робота с максимальной точностью, при этом движении робота не будет происходить замедление скорости движения робота от точки к точке.

Требование избегать значений 5-й оси робота от -15 до $+15$ градусов обусловлено программно-вычислительными ограничениями. Промышленный робот фирмы KUKA Robotics обладает 6-ю подвижными осями, из которых 4-

я и 6-я оси вращаются в одной плоскости в случае, если значение по 5-й оси равно 0. Данный факт не позволяет контроллеру произвести однозначное вычисление какую ось и на какое значение необходимо повернуть, чтобы достигнуть заданной точки в пространстве, поскольку появляется бесчисленное количество решений. Возникший парадокс приводит к зависанию контроллера, перезапуск которого возможен только посредством перезагрузки.

В процессе организации процесса нанесения клеевого шва была определена оптимальная высота и вылет руки клеевой стойки, позволяющие роботу без перекручивания осей нанести клеевой шов на три стороны деталей.

На рисунке Рисунок 27 представлена проектируемая клеевая стойка, высотой 2365мм и вылетом руки 480мм. В условиях наложенных ограничений на процесс нанесения клеевого шва необходимо обеспечить движение детали без столкновений с окружающим оборудованием. Для этого были сформированы коллизионные пары взаимодействующих предметов и на протяжении всего процесса движения робота проводилось отслеживание минимальных зазоров между объектами коллизионных пар. Затем, была определена оптимальная конфигурация осей промышленного робота для всех движений. Определение конфигурации позволяет устранить перекручивание осей промышленного робота в процессе движения, поскольку в одну и ту же точку пространства промышленный робот может прийти разными путями, то есть одна точка пространства обладает несколькими конфигурациями робота и если робот в процессе движения будет переходить из одной конфигурации в другую, это значит что одна или несколько осей меняют свою полярность с положительной на отрицательную или обратно. В цеховых условиях это означает что робот начнёт совершать ускоренное и хаотическое вращение осей.

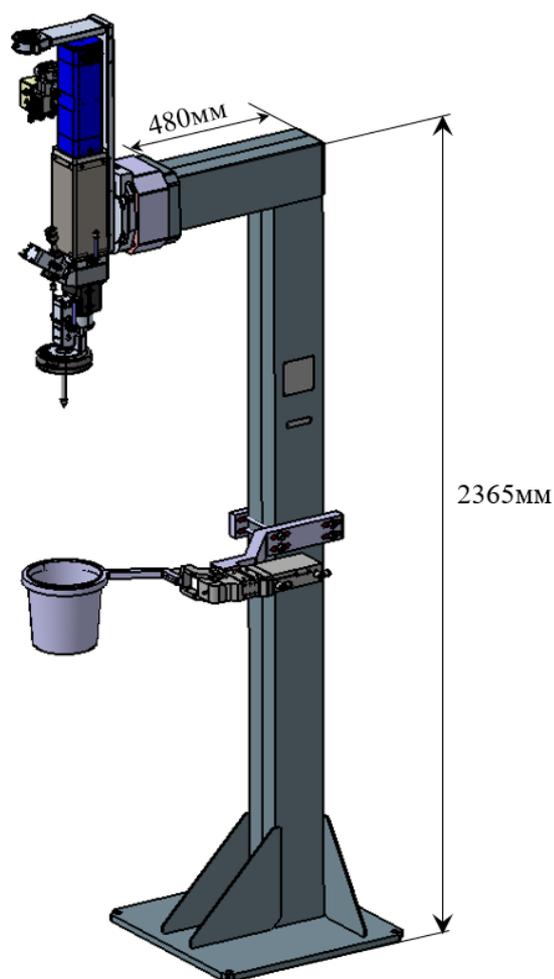


Рисунок 278 – Клеевая стойка

В результате анализа геометрии и материала проектируемого кузова автомобиля было определено: геометрия электродов; усилие зажима; диаметр сварочного пятна; вес сварочного пистолета; основное оборудование, необходимое для автоматизации процесса сварки; положение оборудование для заточки и замены колпачков сварочного пистолета; определён тип и объём клеевого пистолета, габаритные размеры клеевой стойки и положение ёмкости для забора клеевой массы.

4 Калибровка рабочего инструмента

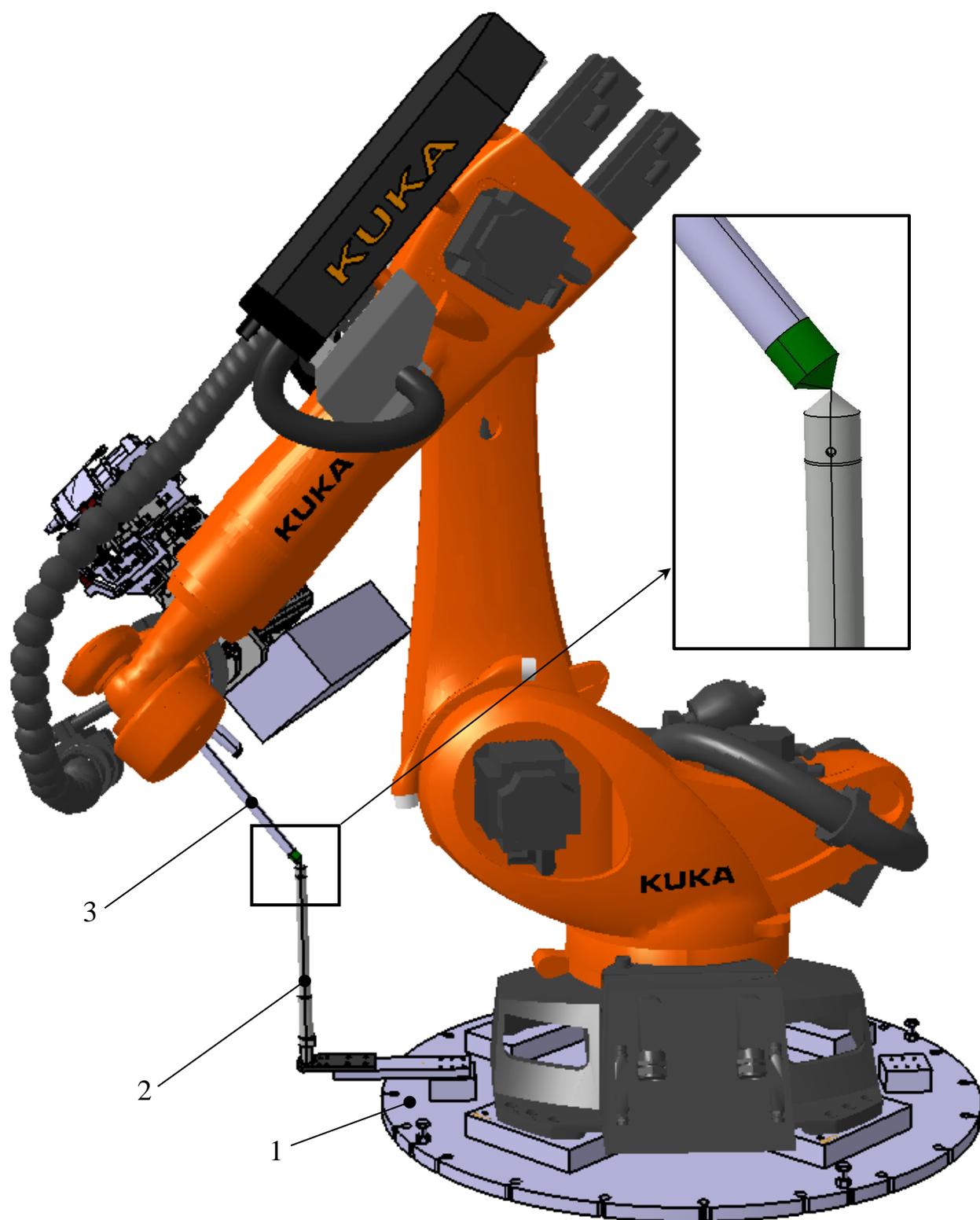
В процессе воспроизведения на производстве позиций оборудования, полученных с помощью симуляционной модели работы участка, обслуживающий персонал сталкивается с проблемой совместимости собираемого оборудования и программным кодом, написанным для перемещения оборудования. Для того, чтобы привести в соответствие аппаратную и программную часть оборудования необходимо произвести операцию калибрования, предусматривающей выявление отклонение программного движения робота и реального движения. В случае если будет обнаружено расхождение, программное движение робота будет уточняться и корректироваться, чтобы роботы выполняли только запрограммированные движения.

Калибровка промышленного робота может производиться несколькими методами: 1. Калибровочные головки, монтируемые на инструмент в руке робота; 2. Специальные калибровочные спицы. Для проектируемого сборочного участка был выбран второй метод – метод спиц. Он заключается во временном монтаже специальной спицы на фланец 6-й оси робота и монтаже встречной спицы на стационарное оборудование с известными координатами. Далее необходимо написать программу движения робота, таким образом, чтобы конец спицы на фланце робота был соединён с концом встречной стационарной спицы. По условиям проекта операция калибрования может быть запущена за пределами рабочего цикла.

В целях экономии цехового пространства было решено для ряда роботов использовать монтажную консоль в качестве стойки для калибровочной спицы. На рисунке

- 1 – Монтажная плата промышленного робота; 2 – Стационарная калибровочная спица;
3 – Спица, установленная на фланце 6-й оси робота

Рисунок 289 представлено положение роботной спицы и ответной спицы на монтажной плате робота.



- 1 – Монтажная плата промышленного робота; 2 – Стационарная калибровочная спица;
3 – Спица, установленная на фланце 6-й оси робота

Рисунок 289 – Калибровочное положение клеевого робота

Из рисунка видно, что точность позиционирования позволит определить, насколько корректно установлены программная и аппаратная части. Полученное положение робота для калибровки не должно нарушать общих требований к движению робота: необходимо иметь запас по всем осям 10 градусов, не должно быть столкновения по 5-й оси в процессе сгиба оси.

Для сварочно-транспортного робота габаритные размеры инструмента не позволяют установить калибровочную спицу на монтажную консоль робота. Поэтому встречная калибровочная спица была вынесена на отдельно стоящую стойку, на высоту 1325мм, для того, чтобы робот имел возможность подойти к спице без перегибов по осям и не ударив инструмент об пол. На рисунке 30 представлено калибровочное положение робота у стойки с калибровочной спицей, установленной с задней стороны робота на расстоянии 370мм от консоли робота.

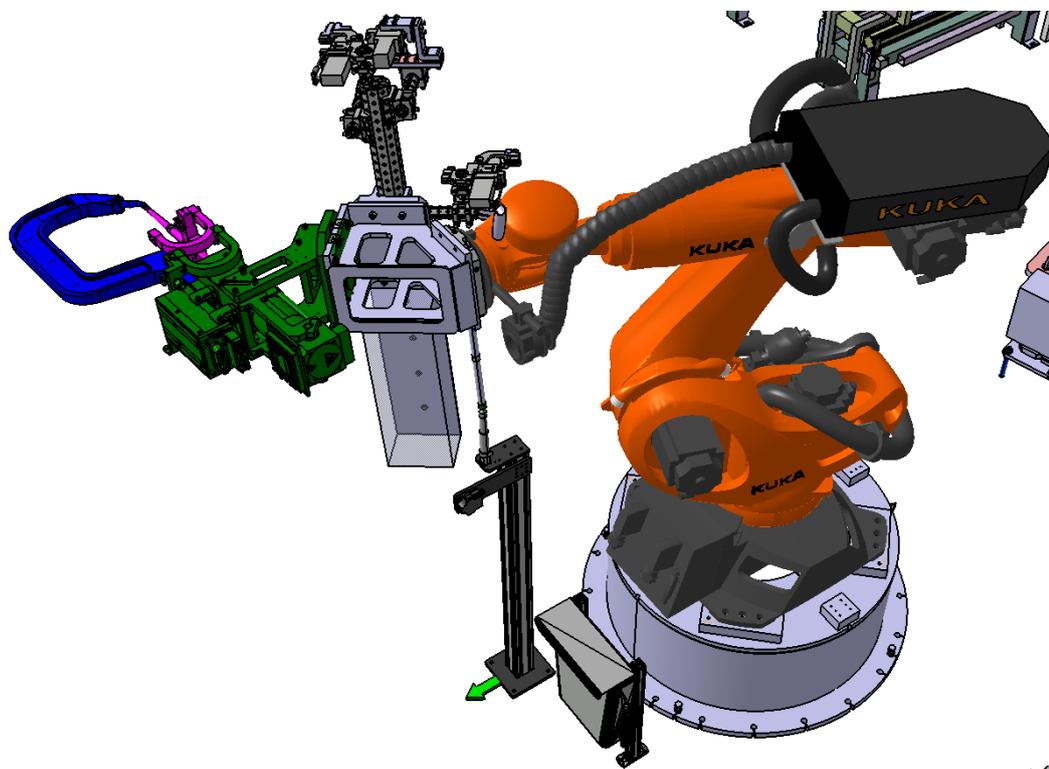


Рисунок 30 – Калибровочное положение робота у стойки с калибровочной спицей

Кроме калибровки основного рабочего инструмента необходимо определить положение кабель-канала, установленного на фланце 6-й оси робота. Положение кабель-канала определяется путём построения рабочих программ движения роботов, обеспечивающих безаварийное перемещение робота и всего оборудования, установленного на нём. Монтажное крепление кабель-канала на 6-й оси робота монтируется таким образом, чтобы можно было свободно вращать его на 360 градусов, рисунок 31.

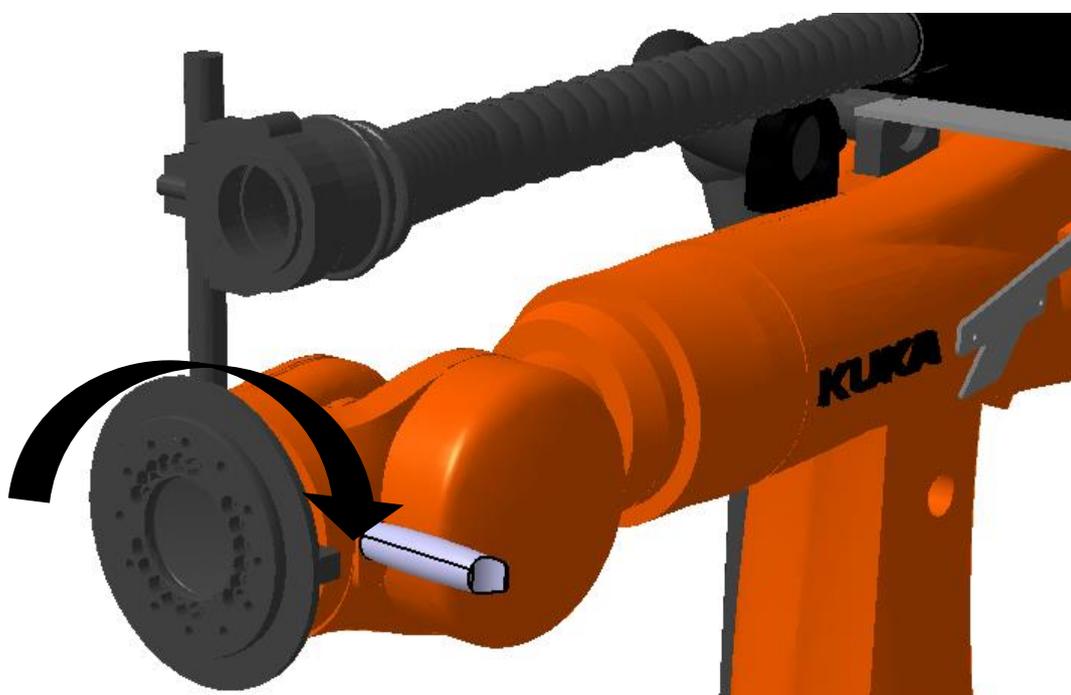


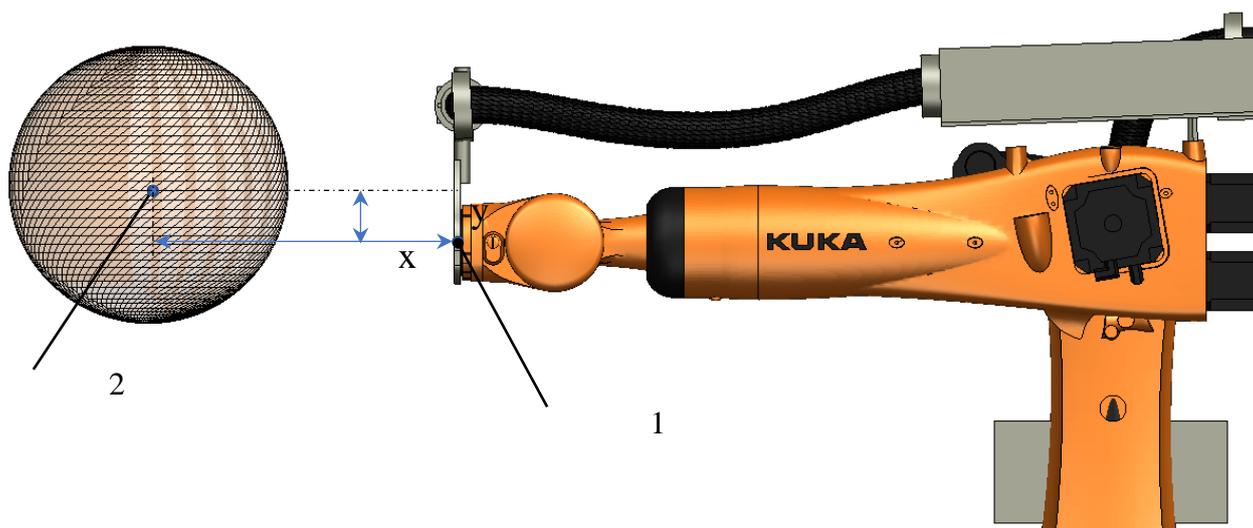
Рисунок 29 – Положение кабель-канала 6-й оси фланца робота

В результате калибровки рабочего инструмента и стационарного оборудования была разработана методика проведения калибровки с применением спиц, позволяющая произвести калибровку рабочего инструмента робота и вспомогательного оборудования, установленного на фланце 6-й оси робота.

5 Калибровка рабочей зоны робота

С целью ограничения непредусмотренных перемещений подвижных частей робота в пространстве была сформирована рабочая зона, обеспечивающая свободное перемещение робота в обозначенном пространстве. В случае если робот выйдет за пределы указанной области управляющий контроллер отключит его от источника питания. Подобная мера необходима для разделения зон в случае, когда несколько роботов работают совместно, а также для повышения сохранности жизни и здоровья обслуживающего персонала.

Рабочая зона робота представляет собой многоугольник в пространстве, углы многоугольника вычисляются относительно центра монтажной платы промышленного робота с заданной высотой. Отслеживание перемещения подвижных частей осуществляется посредством контролирующих сфер потому, что область покрытия сферы легко может быть вычислена по двум параметрам: центр координат сферы и радиус сферы. Обладая параметрами рабочей зоны и контролирующих сфер контроллер отслеживает траекторию движения сфер в пространстве и в случае пересечения любой из них с границей рабочей зоны питание промышленного робота отключается [31, 34]. Контролирующие сферы при этом должны покрывать все подвижные части инструмента с учётом детали, если она предусмотрена технологическим процессом. Охват всех выпирающих и подвижных частей необходимо учесть для исключения травмирования и поломки окружающего оборудования и обслуживающего персонала. На рисунке Рисунок 30 показано расчётное положение контролирующей сферы по отношению к фланцу 6-й оси робота [29, 34].



1 – центр фланца робота; 2 – центр сферы безопасности

Рисунок 30 – Координаты сферы безопасности по отношению к роботу

Для повышения надёжности системы контроля и управления функция наблюдения за рабочей зоной робота была отдана независимому контроллеру управления, не связанным с технологическим процессом. Это позволит снизить программную нагрузку с основного блока управления, а также сделать систему контроля не зависимой от технологического процесса, поскольку сохранение жизни и здоровья обслуживающего персонала является приоритетной задачей на производстве.

Поскольку контроллер управления рабочей зоны является не зависимым устройством, а его объект управления (инструмент робота) может перемещаться в пространстве, необходимо провести калибровку корректности установки координат рабочей зоны и контролируемых сфер. Для этого был применён двухточечный метод контроля положения инструмента. Реализация метода была проведена при помощи специального устройства – камертон. Суть метода заключается в том, что промышленный робот должен используя камертон, установленный на инструменте, посредством управляющей

программы перекрыть два датчика одновременно. Такое положение позволит однозначно судить о конфигурации робота.

На рисунке

Рисунок 313 представлен камертон, устанавливаемый на инструменте промышленного робота.

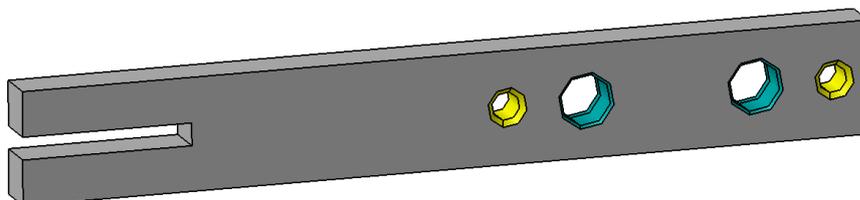
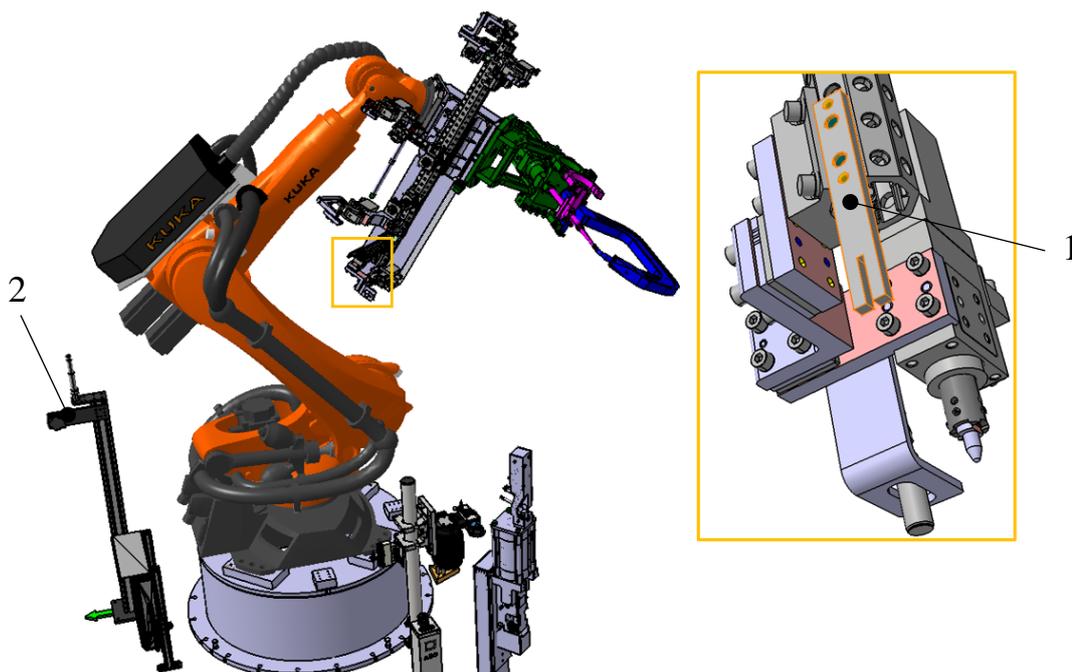


Рисунок 313 – Камертон промышленного робота

Положение камертона определяется исходя из геометрии инструмента и расположения монтажных отверстий. Для промышленного робота с гибридным инструментом камертон был установлен на монтажной трубке транспортирующего устройства, рисунок 1 – Камертон; 2 – Контролирующий датчик;

Рисунок 324.



1 – Камертон; 2 – Контролирующий датчик;

Рисунок 324 – Положение камертона и контролирующего датчика

Положение датчика контроля камертона было определено исходя из минимизации оборудования, необходимого для организации технологического процесса. Для гибридного робота датчик расположен на калибровочной стойке совместно с калибровочной спицей робота.

Для калибровки положения системы координат рабочей зоны робота была написана управляющая программа, которая перекрывает парный датчика двумя половинами камертона. Суть метода заключается в вычислении управляющим контроллером рассогласования координат установки промышленного робота и управляющей программы. Поскольку система координат положение точек траектории движения робота управляющей программы совпадает с системой координат рабочей зоны робота. Путём соединения системы координат робота в цеховых условиях и системы координат, написанной в программной среде устраняется рассогласование систем координат. Таким образом контроллер получает подтверждение о том, что система координат рабочей зоны робота полностью совпадает с системой координат робота в условиях цеха. На рисунке Рисунок 335 представлено положение камертона в процессе калибровки системы координат.

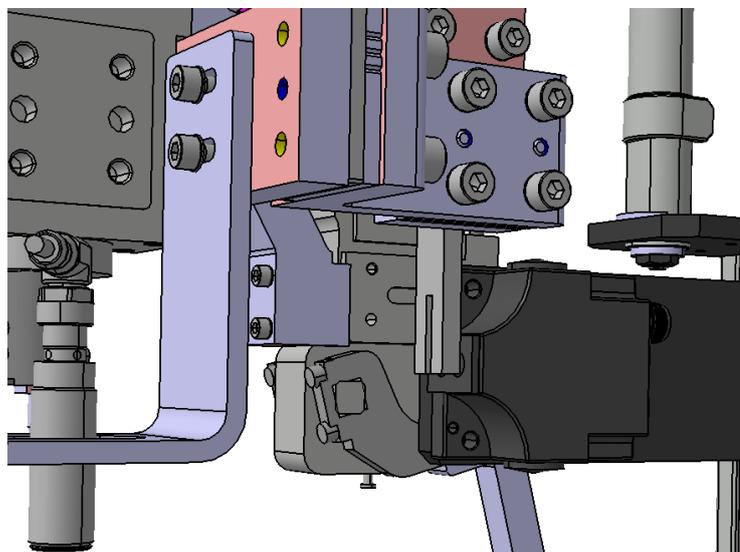


Рисунок 335 – Калибровочное положение камертона

На рисунке 36 представлено положение рабочей зоны комбинированного робота: зелёная линия – показывает границы рабочей зоны; жёлтый прямоугольник обозначает область совместной работы двух роботов и обслуживающего персонала. Доступ в данную область возможен только после получения сигнала о том, что зона свободна и никем не используется. Данный сигнал выдаёт управляющий контроллер после опроса программы клеевого робота и сигнала от обслуживающего персонала.

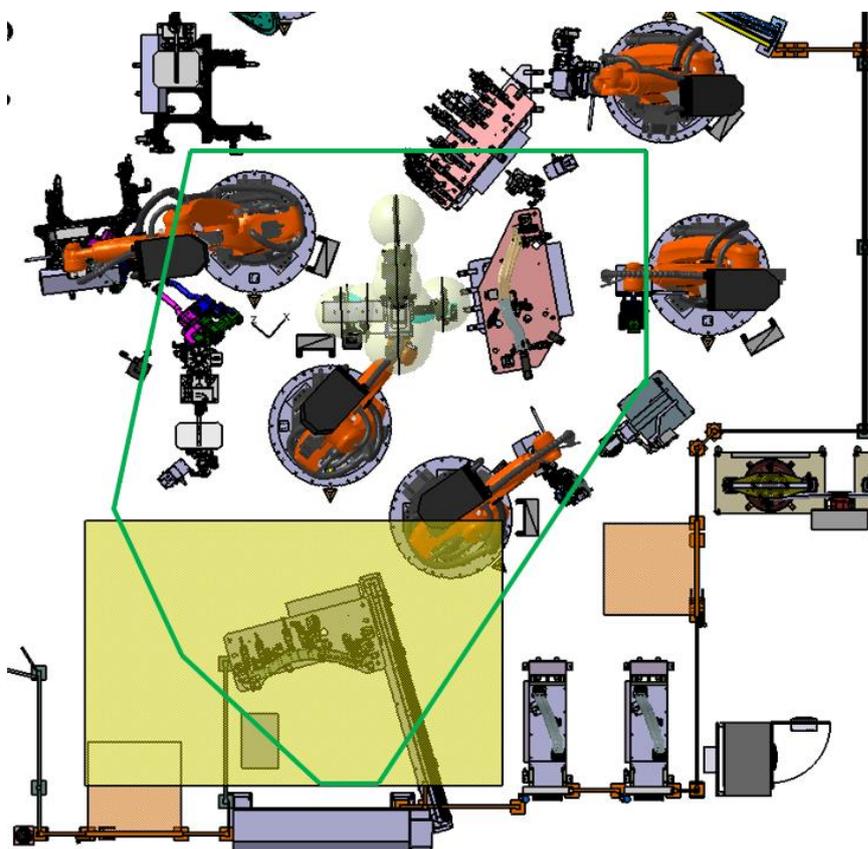


Рисунок 346 – Положение рабочей зоны комбинированного робота

Для робота с захватным устройством и нанесением клеевого шва рабочая зона с ограничениями представлена на рисунке Рисунок 357.

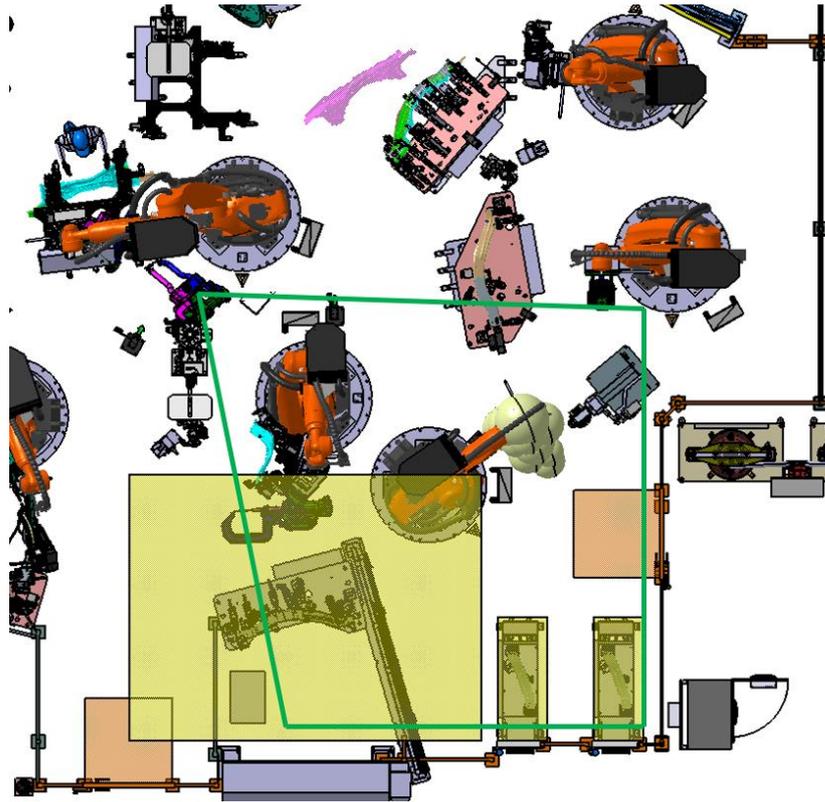


Рисунок 357 – Рабочая зона клеевого робота

Рабочая зона клеевого робота охватывает выкатные тележки с деталями. Тележки дублируют друг друга, то есть когда в одной тележке заканчиваются детали, робот переключается на использование второй тележки. В это время обслуживающий персонал устанавливает новые детали в первую тележку. Для безопасной замены тележек предусмотрены специальные переключаемые зоны, блокирующие робота, в случае если он попытается зайти в зону с отсутствующей тележкой. Дополнительная жёлтая зона разграничивает доступ роботов и обслуживающего персонала к сварочной станции. Включение и отключение зоны происходит по сигналам управляющего контроллера. В целях обеспечения сохранности жизни и здоровья обслуживающего персонала рабочая зона робота расположена на расстоянии 300мм от внешнего забора. Программными средствами ограничение на доступ в зону расположения сварочной станции осуществляет управляющий

контроллер, для обслуживающего персонала доступ к указанной станции ограничивается посредством рольставни, управление которой осуществляет управляющий контроллер на основании отсутствия роботов в указанной области. С целью ограничения возможных перемещений обслуживающего персонала в процессе установки детали в станцию, был установлен ограничительный забор высотой 2300мм. На рисунке Рисунок 368 представлено положение ограничительного оборудования для обслуживающего персонала.

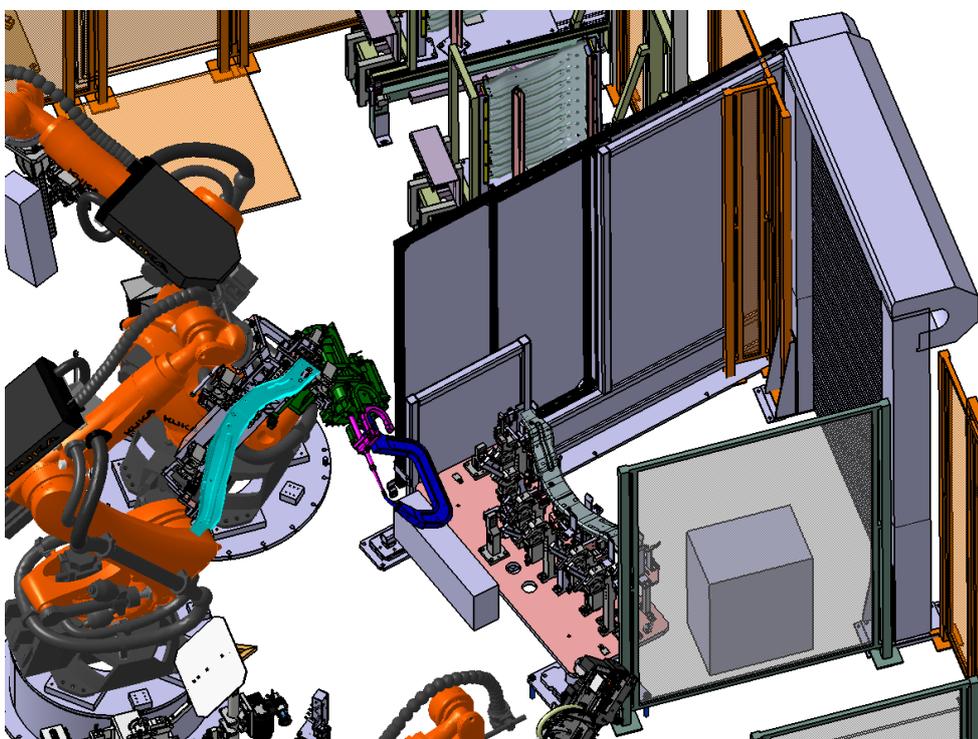


Рисунок 368 – Ограничение перемещений обслуживающего персонала

В результате проектирования рабочих зон промышленных роботов получены относительные координаты многоугольников переключаемых зон и рабочих зон роботов; проработана зона взаимодействия нескольких роботов и обслуживающего персонала, разработан алгоритм взаимодействия и управляющая программа роботов с применением сигналов блокировок роботов.

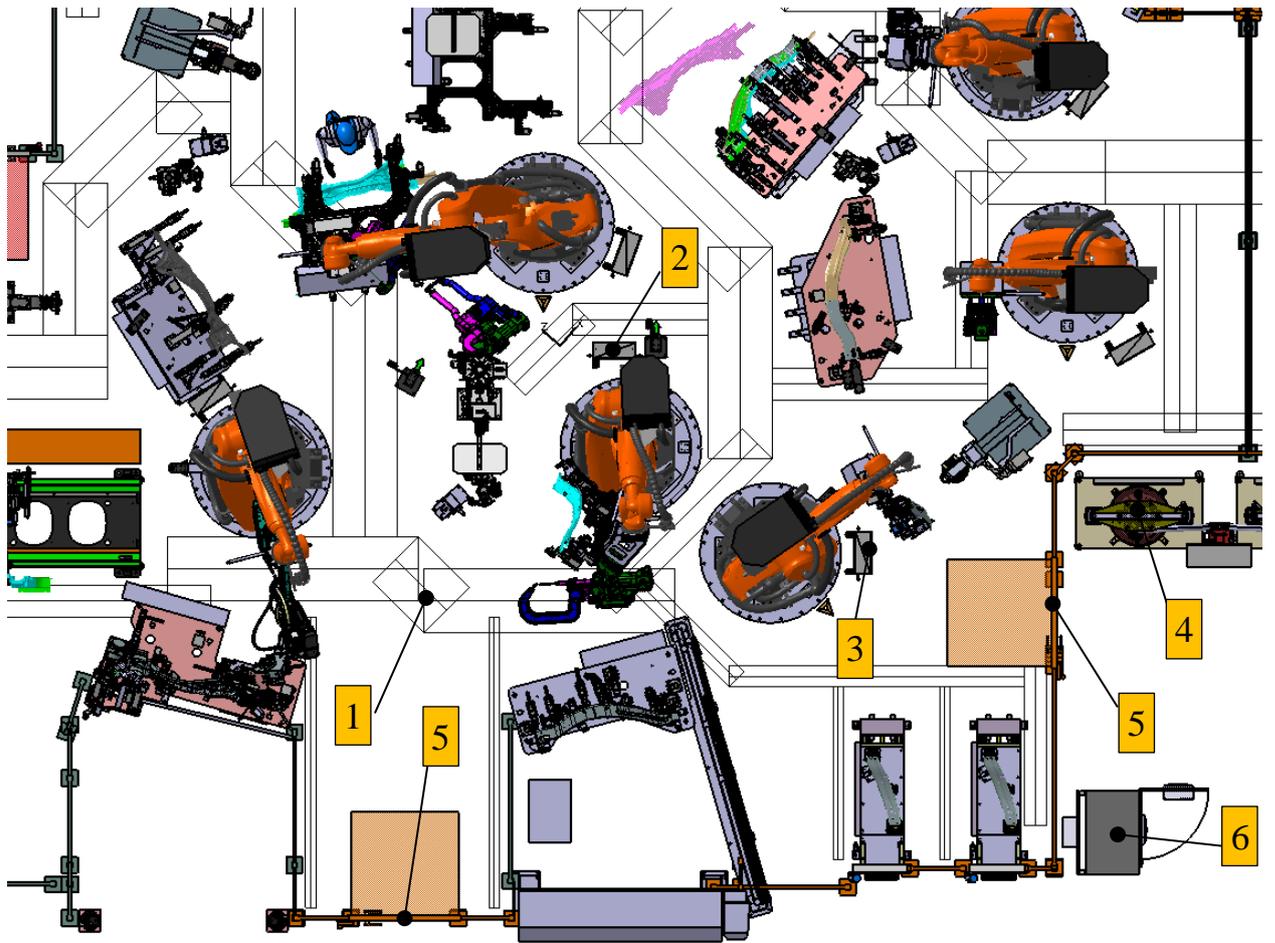
6 Настройка и программирование

6.1 Настройка оборудования работа

Для того, чтобы «управлять инструментом, закреплённым на фланце работа, необходимо обеспечить подвод сигнальных проводов, пневмотрубок сжатого газа, охлаждающей жидкости (для сварочного пистолета), питающие кабели инструмента и т.д. В промышленных роботах KUKA прокладка проводов осуществляется в специальном кабеле проводящем шланге (далее шланг), закреплённым к осям работа. Конец шланга закреплён на «ракетке» фланца работа. Положение «ракетки» работа также требует своей корректировки и необходимо проверять «ракетку» работа на столкновения с окружающим оборудованием» [20, 22, 24].

Основное условие проверки заключается в «устранении столкновений или малых зазоров (менее 100мм) от кабеле проводящего шланга до любого оборудования, к которому приближается робот в процессе движения» [20, 22, 24]. Подвод проводов и трубок до работа осуществляется по кабель-каналу на полу, до распределительного устройства работа. Подвод кабель-канала необходимо произвести ко всем единицам оборудования, для защиты кабеля канал закрыт металлической крышкой, выдерживающей вес до 120кг, высота кабель-канала составляет 300мм. На рисунке Рисунок 37 представлено расположение необходимого для выполнения технологического процесса оборудования с подведением кабель-канала ко всем единицам оборудования.

Представленное положение оборудования позволяет гарантировать безаварийной и циклическое выполнение технологического процесса сборки автодеталей. В качестве дополнительного оборудования рядом с роботом был установлен распределитель. Из кабель-канала необходимые кабели и провода поступают в распределитель, после чего расходятся по необходимым местам на промышленном работе.



- 1 – Кабель-канал; 2 – Распределитель комбинированного робота;
 3 – Распределитель клеевого робота; 4 – Клеевые ёмкости;
 5 – Дверь для доступа в производственную ячейку; 6 – Шкаф управляющего контроллера

Рисунок 379 – Положение вспомогательного оборудования для проектируемого участка

После прокладки внутрицехового кабель-канала «для основного и вспомогательного оборудования необходимо для робота создать позиции для контроля за нанесением клеевого шва. Данная функция предусматривает возможность в любой момент цикла проверить правильность нанесения клеевых швов путём визуального осмотра обслуживающим персоналом. После нажатия на соответствующую кнопку на панели у входа в ячейку, робот, после того, как закончит наносить клей, отклонится от основного цикла и подойдёт к забору так, чтобы хорошо просматривались клеевые швы» [20]. В

случае если «качество шва удовлетворительное цикл продолжается, в случае если не удовлетворительный, то после нажатия на соответствующую кнопку робот перестраивается в позицию корректировки клеевого шва. Эта позиция должна учитывать свободный подход обслуживающего персонала для механического удаления клея с поверхности детали» [20]. В процессе нанесения клеевого шва предусмотрен дополнительный метод контроля за состоянием клей посредством видеокamеры высокого разрешения, установленной на сопле клеевого пистолета, рисунок 40.

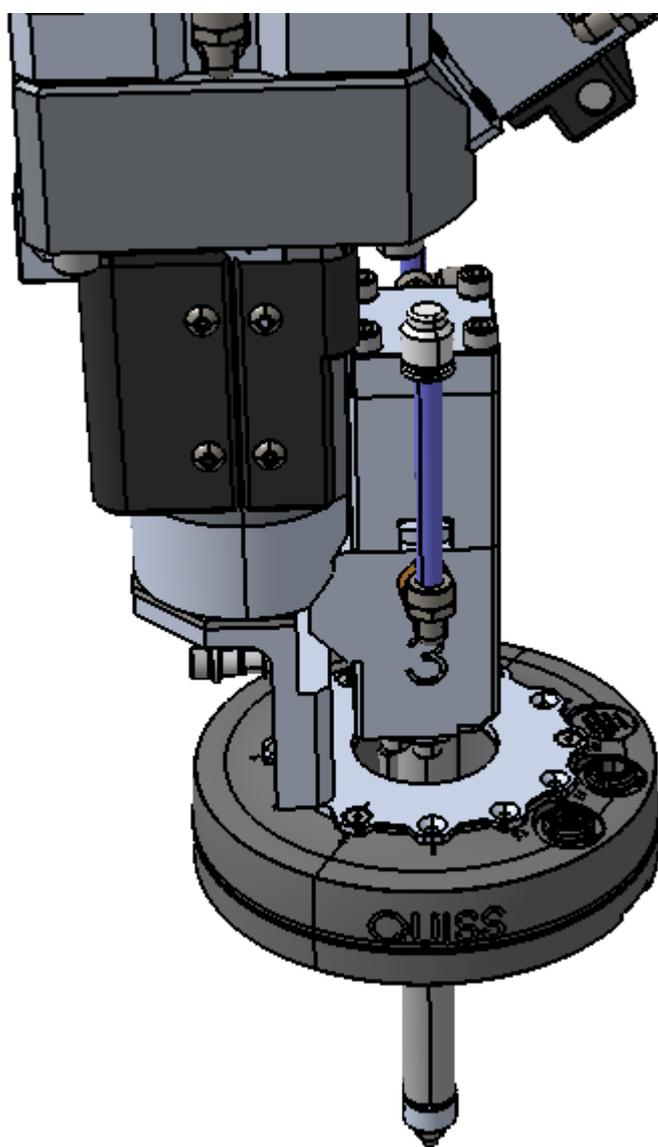


Рисунок 40 – Камера контроля клеевого шва

В процессе нанесения клея камера отслеживает ширину и клеевого шва и вычисляет длину, в случае отклонения габаритных размеров шва от стандартного значения контроллер останавливает подачу клея и переводит робота в позицию для механического удаления клеевого шва обслуживающим персоналом.

6.2 Программирование робота

По окончании определения положения основного и вспомогательного оборудования, завершения формирования рабочих зон для роботов, была проведена работа по написанию траекторий движения роботов и заданию основных параметров движения. Для выполнения всех операций технологического процесса роботу необходимо помимо основной программы, работающей в цикле, наличие обслуживающих программ, программ корректировки и калибровки. Эти программы не относятся к основному циклу и могут выполняться по мере необходимости в условиях остановки основного цикла.

Ниже приведено пошаговое описание рабочего цикла клеевого робота:

- из «Старт» позиции робот подходит к одному из двух контейнеров с деталями;
- включается датчик положения детали и робот линейным движением с заниженной скоростью вертикально опускается до точки обнаружения детали;
- после обнаружения детали включается присоска и закрывается пневматический зажим;
- затем робот отходит от контейнера и возвращается в позицию «Старт»;
- из позиции «Старт» робот заходит в зону работы с клеевой стойкой и начинает нанесение клеевого шва; параметры нанесения клея соответствуют скорости 100мм/с и линейному движению на протяжении всей траектории;

- для нанесения клея на труднодоступные места планируется в конце открыть пневматический зажим и нанести клеевой шов;
- после нанесения клеевого шва, закрывается пневматический зажим и робот возвращается в позицию «Старт»;
- из позиции «Старт» робот опрашивает зону сварочной станции, если зона свободна, контроллер занимает эту зону и разрешает роботу зайти;
- робот устанавливает деталь в сварочную станцию и возвращается в стартовую позицию.

После установки роботом детали на сварочную станцию, контроллер открывает доступ обслуживающему персоналу для установки остальных деталей. После установки всех деталей, обслуживающий персонал покидает рабочую зону, после чего закрывается дверь, ограничивая область передвижения человека. Далее контроллер выдаёт разрешение на доступ сварочного робота в зону сварочной станции и запускается рабочий цикл комбинированного робота:

- из стартовой позиции робот сварочным пистолетом подходит к сварочной станции и начинает сварку геоточек деталей;
- затем начинается сварка вспомогательных точек;
- далее из сварочной позиции робот переориентируется и встаёт в позицию снятия детали со станции;
- после захвата детали робот переносит её на следующую станцию;
- затем робот возвращается в исходную позицию Старт.

В» пространстве траектория движения робота представляет собой массив точек. Для того, чтобы передать координаты этих точек в робота в условиях производства необходимо выбрать систему отсчёта, которой будет являться центр оси монтажного крепления робота, поскольку он статичен и не может быть изменён физически. На рисунке Рисунок 38 представлена конфигурация траектории движения клеевого робота» [6, 20, 23].

VN	Op	Target	Status	Type	Op Type	Moti...	Orientation	Moti...	Accu...	Tool Profile	Object ...	InterpolationMode	Config	Joint 1	Joint 4	Joint 5	Joi
1	Operation.85				Process												
2	Operation.84	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/ViaPoint10		Tag	Via	JNT		100%	100%	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	SetConfig SetTurn	S2	-	+	+	-
3	Operation.83	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/ViaPoint9		Tag	Via	JNT		100%	100%	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	SetConfig SetTurn	S2	-	-	+	+
4	Operation.1	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_014571_1		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
5	Operation.2	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_014571_2		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
6	Operation.3	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_014571_3		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
7	Operation.5	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_014568_2		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
8	Operation.4	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_014568_1		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
9	Operation.6	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_1		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
10	Operation.7	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_2		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
11	Operation.8	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_3		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
12	Operation.9	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_4		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
13	Operation.10	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_5		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
14	Operation.11	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016984_6		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
15	Operation.12	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016983_1		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	-
16	Operation.13	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016983_2		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	-
17	Operation.14	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016983_3		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
18	Operation.15	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016983_4		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
19	Operation.16	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016983_5		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
20	Operation.77	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/ViaPoint5		Tag	Via	JNT		100%	100%	KLB_01_FIXED_TCP*	Base[1]	SetConfig SetTurn	S2	-	-	+	+
21	Operation.79				Process												
22	Operation.17	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_1		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
23	Operation.18	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_2		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
24	Operation.19	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_3		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
25	Operation.20	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_4		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	-
26	Operation.21	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_5		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	-
27	Operation.22	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_6		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
28	Operation.23	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_7		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
29	Operation.24	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_8		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
30	Operation.25	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_9		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
31	Operation.26	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_10		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
32	Operation.27	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_11		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
33	Operation.28	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_12		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
34	Operation.29	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_13		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
35	Operation.30	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_14		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+
36	Operation.31	130RB_200_KLB295VFixedTCP[Global_Points]_globaltags_130_01_130R2/KL_61_016985_15		Tag	Process	LIN	1_Axis	0.2m/s	Off	KLB_01_FIXED_TCP	Base[1]	KeepConfig SetTurn	S2*	-	-	+	+

Рисунок 38 – Конфигурация траектории движения клеевого робота

Из рисунка видно, что в позиции нанесения клея скорость робота составляет 200мм/с, точность подвода к точке траектории максимальна, аппроксимация движения максимальна в промежуточных точках, не влияющих на процесс нанесения клея. Для клеевого пистолета был создан профиль с указанием типа и координат инструмента. Для клеевой стойки тип инструмента стационарный и точка отсчёта координат траектории будет вестись от кончика сопла клеевого пистолета.

Движение в процессе нанесения клея установлено линейным, для повышения точности и уменьшения неточностей траектории движения. Для всей траектории движения робота задана конфигурация ориентации осей S2, определяющая однозначное положение всех осей робота в указанной точке траектории. Поскольку промышленный робот обладает 6-ю вращательными осями ось может иметь как положительное направление вращения «+» так и отрицательное направление вращения «-», в зависимости от того, какое направление вращения имеет ось, такое значение и отображается к конфигурации 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 офлайн программирования. Команды офлайн программирования описывают все движения задействованных в процессе сборки единиц оборудования. Например, открытие/закрытие зажимов захватного устройства; закрытие сварочных клещей, когда робот выйдет на позицию сварки; инициализация запуска программы; обработка и формирование прерываний для разблокировки зон совместного использования. Для удобства программирования траектория нанесения клея была выведена в отдельную процедуру основного цикла.

Аналогичным образом формируются и прописываются сервисные программы робота» [9, 20, 27]. В конечном счёте для сварочного робота было сформировано 10 рабочих программ, включающих:

- захват детали из первой тележки;
- захват детали из второй тележки;
- нанесение клеевого шва;
- установка детали в сварочную станцию;
- калибровка осей робота;
- позиция показа клеевого шва;
- позиция механического удаления клея;
- позиция обслуживания захватного устройства;
- позиция калибрования сварочного пистолета;
- позиция калибрования рабочей зоны робота.

В результате программирования и настройки промышленных роботов получены рабочие программы основного цикла, обслуживающих операций и калибровочных операций для клеевого и комбинированного роботов. Были запрограммированы настройки движения робота для повышения точности движения в процессе позиционирования. Указана база для фиксации системы координат траектории движения, это позволяет загрузить данные в управляющий контроллер промышленного робота на производстве без необходимости программирования на месте. [20]

Заключение

В результате разработки роботизированного участка сборки накладной пластины левого лонжерона легкового автомобиля были получены следующие результаты:

- разработана схема крепления усилительных пластин для левого лонжерона легкового автомобиля;
- разработан процесс соединения деталей с применением технологии нанесения клеевого состава и точечной контактной сварки;
- распределено положение точек сварки усилительных пластин по приоритету сварки и по прижимному усилию сварочного пистолета;
- определён тип и технология клепания в соответствии с технологическим процессом, а также подобран соответствующий клёпочный инструмент и вспомогательное оборудование для обслуживания и настройки процесса клёпки;
- расчётные значения усилий прижима для пневматических зажимов транспортирующего устройства;
- сформирован массив данных по определению пространственных ограничений в процессе нанесения клеевого состава, а также точечной контактной варки;
- разработан пневматический план последовательной работы прижимных устройств для сварочной оснастки станции и захватного устройства;
- получены расчётные данные по динамической и статической нагрузке на оси промышленных роботов, на основании которых был определён и подобран тип и грузоподъёмность промышленного робота, обеспечивающего выполнение заданных функций;

- сформировано объёмное и плоское сечение сварочного пистолета, позволяющее определить геометрию и ширину открытия электродов сварочного пистолета;

- в процессе программирования промышленных роботов получена конфигурация всех осей робота, позволяющая оптимизировать перемещение промышленного робота в пространстве;

- разработан механизм калибрования инструмента и стационарного оборудования на основании калибровки методом измерительных спиц;

- разработан способ калибрования рабочей зоны робота с применением вспомогательного устройства камертона, монтируемого на рабочем инструменте робота;

- разработан план расположения рабочих и блокировочных зон промышленных роботов.

Список используемых источников

1. Автоматизированный клёпочный инструмент для промышленной робототехники. Фирма TOX® PRESSOTECHNIK.
<https://ru.tox-pressotechnik.com/products/clinching-tools/toolsets/>
2. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления / М.П. Белов. - С-Пб.: Северо-западный государственный заочный технический университет, 2006. - 184 с.
3. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. - М.: КолоС, 2005. - 344 с.
4. Брюханов В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
5. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. - М.: Горячая линия - Телеком, 2009. - 608 с.
6. ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения». - М.: Стандартинформ, 2009. - 15 с.
7. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2017. — 452 с.
8. Зубарев, Ю.М. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие. 2-е изд., пер. и доп. / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский. — СПб.: Лань, 2016. — 160 с.
9. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
10. Кангин В.В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры / В.В. Кангин, В.Н. Козлов. -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 418 с.

11. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. 2-е изд., стер. / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 2017. — 415 с.
12. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин. — М.: Альянс, 2015. — 272 с.
13. Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства / Д.М. Кукуй, В.Ф. Одинокко. — Минск: Новое знание, 2018. — 240 с.
14. Латышенко, К.П. Автоматизация измерений, испытаний и контроля / К.П. Латышенко. — М.: МГУИЭ, 2016. — 312 с.
15. Муллаяров А.А. Повышение эффективности кузовной сборки автомобиля путём автоматизации сборочных операций с применением промышленных роботов / А.А. Муллаяров – ТГУ. Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.
16. Мауэргауз, Ю.Е. Автоматизация оперативного планирования в машиностроительном производстве / Ю.Е. Мауэргауз. — М.: Экономика, 2017. — 287 с.
17. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники / Ю.В. Новиков, П.К. Скоробогатов. - М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ Лаборатория знаний, 2009. - 357 с.
18. Овчинников, В.В. Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов: Практикум: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / В.В. Овчинников. — М.: ИЦ Академия, 2016. — 128 с.
19. Овчинников В.В. Плакаты: Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов / В.В. Овчинников. - М.: Academia, 2017. - 256 с.
20. Перфильев Е.А. Увеличение производительности линии кузовной сборки путём роботизации участка цеха / Е.А. Перфильев // Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.

21. Пиляев, С.Н. Основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами / С.Н. Пиляев, П.О. Гуков, Д.Н. Афоничев, Р.М. Панов. - Воронеж: Воронежский ГАУ, 2013. - 187 с.

22. Пиляев, С.Н. Применение программируемых логических контроллеров для автоматизации технологических процессов / С.Н. Пиляев, П.О. Гуков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - № 10.-С. 34-35.

23. Потапов А.А. Разработка роботизированного участка складского помещения станции технического обслуживания для хранения ячеек тяговых батарей электромобилей различной ёмкости / А.А. Потапов // Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.

24. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов. Издание 3-е / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. — 352 с.

25. Скворцов, А.В. Автоматизация управления жизненным циклом продукции: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Чмырь.— М.: ИЦ Академия, 2016. — 320 с.

26. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. — Ст. Оскол: ТНТ, 2016. — 524 с.

27. Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. — М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2016. — 264 с.40. Фельдштейн, Е.Э.

28. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. - М.: ИЦ «Академия», 2005. - 352 с.

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

30. Энциклопедия заклепки. Процесс, оборудование и технология.
<https://azbukametalla.ru/entsiklopediya/z/zaklepki.html>
31. Jazar R.N. Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control // Springer, 2007. 693 pp.
32. Lewis F. Robot Manipulator Control Theory and Practice / F. Lewis, D.M.Dawson, C.T.Abdallah. // New York, Marcel Dekker, 2004 , 614 pp. ISBN 0-8247-4072-6.
33. Low K.H.(ed.) Industrial Robotics. Programming, Simulation and Applications // First published February 2007. Printed in Croatia 700 pp. ISBN 3-86611-286-6.
34. Murray R.M. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation / Murray R.M., Li Z., Sastry S. // CRC Press, 1st edition, 1994, 480 pp.
35. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control / Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. // Springer, 2009, 644 pp. ISBN 978-1-84628-641-4