

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология и оборудование для точечной сварки сжатой дугой
изделий из алюминиевых сплавов

Обучающийся

П.А. Семенов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности сварки корпусных конструкций транспорта из алюминиевых сплавов. Для построения проектной технологии на основании анализа источников научно-технической информации обоснован выбор точечной плазменной сварки, применение которой позволяет повысить энергетическую эффективность оборудования и улучшить эксплуатационные свойства конструкции по сравнению с контактной точечной сваркой и дуговыми способами сварки. На основании литературного обзора выполнена экспертная оценка схем питания сжатой дуги при выполнении точечных сварных соединений деталей из алюминиевых сплавов. Для построения проектного технологического процесса предложено применить сварку на обратной полярности комбинированной дугой. Для осуществления способа предложена оригинальная конструкция плазматрона, позволяющая эффективно бороться с кратерами на поверхности сварной точки. Расширение технологических возможностей выбранного способа обеспечено применением разработок российских исследователей в области сварки сжатой дугой. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований, проведение которых предполагается в ходе выполнения магистерской диссертации.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы	7
1.1 Применение алюминиевых сплавов в изготовлении корпусных деталей транспорта и типовой детали автомобиля	7
1.2 Сведения о материале свариваемых деталей.	12
1.3 Особенности выполнения операций согласно базовой технологии сварки рассматриваемого узла с применением подвесных сварочных клещей	13
1.4 Обоснование эффективности применения точечной сварки сжатой дугой алюминиевых сплавов.	16
1.5 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки транспортных конструкций из алюминиевых сплавов	21
1.6 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы	24
2 Построение проектной технологии точечной плазменной сварки.	26
2.1 Особенности сварки на постоянном токе обратной полярности .	26
2.2 Особенности сварки на переменном токе	28
2.3 Особенности сварки трехфазной сжатой дугой.	31
2.4 Способ плазменной точечной сварки	32
2.5 Автоматизация сварки сжатой дугой	35
2.6 Оптимизация параметров режима сварки при помощи математического моделирования	38
2.7 Особенности выполнения операция проектной технологии сборки и сварки	41
3 Промышленная безопасность производственного участка.	45

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	45
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	46
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	47
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	49
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	51
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	54
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	54
4.2 Фонд времени работы оборудования.	56
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства.	57
4.4 Заводская себестоимость.	59
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	65
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	67
Заключение	69
Список используемой литературы и используемых источников.	70

Введение

Применение алюминиевых сплавов при изготовлении транспортных конструкций позволяет достигнуть нескольких положительных моментов. Во-первых, работающее в условиях коррозионного воздействия изделие более успешно сопротивляется коррозии благодаря защитным свойствам оксидной пленки, которая образуется на поверхности деталей из алюминиевых сплавов. Во-вторых, деталь, выполненная из алюминиевых сплавов, намного легче детали из стали, которая обладает аналогичными прочностными характеристиками, это положительно сказывается на динамических свойствах транспортного средства и расходе топлива. В-третьих, изготовленное из алюминиевых сплавов изделие по сравнению с изделием из стали более легко подвергается утилизации, так как алюминиевый сплав может быть использован многократно после вторичной переработки [6], [15].

Таким образом, следует признать высокую актуальность вопроса повышения доли алюминиевых сплавов в изготовлении транспортных конструкций – вагонов, кузовов грузовых и легковых автомобилей. При этом основной технологической операцией при изготовлении кузовов транспортных средств является сварка, которая применительно к алюминиевым сплавам встречает ряд трудностей. Первой трудностью является наличие на поверхности деталей оксидной пленки, которая препятствует нормальному протеканию процесса формирования соединения и загрязняет сварное соединение, снижая качество как дуговой, так и контактной сварки. Второй трудностью является высокая теплопроводность алюминиевых сплавов, в результате чего при сварке образуется значительный уровень остаточных напряжений и деформация, что становится причиной коробления конструкции и образования горячих трещин. Третьей трудностью является высокий коэффициент линейного расширения, что также повышает уровень остаточных напряжений при сварке и становится причиной нарушения сплошности металла сварного соединения [5], [9].

Описанные проблемы характерны не только для дуговой сварки, которая используется при изготовлении толстостенных конструкций из алюминиевых сплавов, но и для контактной точечной сварки, которая используется при изготовлении транспортных конструкций из листовых деталей и заготовок [3]. Кроме того, при контактной точечной сварке деталей из алюминиевых сплавов приходится применять значительную величину сварочного тока, который измеряется десятками и сотнями тысяч ампер. В результате стоимость и габариты оборудования для контактной точечной сварки алюминиевых деталей возрастают многократно по сравнению с аналогичным оборудованием для контактной точечной сварки деталей из сталей. Также существенно повышаются требования подводу электрической энергии, так как установленная мощность оборудования измеряется сотнями тысяч вольтампер [13]. В результате возрастают нагрузки на электрическую сеть, нарушается работа других потребителей электрической энергии, предприятию приходится платить повышенный тариф за снижение коэффициента мощности расходуемой электрической энергии.

Описанные проблемы существенно затрудняют внедрение алюминиевых сплавов при изготовлении транспортных конструкций. Решение этих «проблем достигается применением точечной сварки сжатой дугой, которая обладает производительностью, сходной с контактной точечной сваркой и с успехом может быть роботизирована, что является немаловажным фактором, определяющим применимость способа сварки в условиях массового производства» [19].

Таким образом, актуальна цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности точечной сварки сжатой дугой алюминиевых сплавов.

Достижение поставленной цели будет осуществлено путем реализации технологии точечной плазменной сварки, работы по повышению эффективности которой ведутся в научных учреждениях России и зарубежом.

1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы

1.1 Применение алюминиевых сплавов в изготовлении корпусных деталей транспорта и типовой детали автомобиля

Применение алюминиевых сплавов при изготовлении транспортных конструкций может рассматриваться как одно из самых перспективных направлений развития транспортной промышленности, так как позволяет получить ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с применением конструкций из сталей. Во-первых, удельная масса алюминиевых деталей и всей конструкции существенно меньше, чем удельная масса стальных деталей. Это делает возможным промышленное изготовление летательных средств (самолеты, вертолеты, ракетная техника), на рисунке 1 представлены примеры деталей авиационной и космической техники – шпангоут из сплава 1420 и каркас топливного бака. Для изготовления топливных баков применяются сплавы системы алюминий-магний (АМг2, АМг4, АМг6). Также для изготовления топливных и масляных баков могут быть применены сплавы АМц, АВ и АД33. Несущие конструкции гражданской авиации выполняются из сплавов Д16, Д19, В95 и В96, которые хорошо зарекомендовали себя в условиях действия растягивающих и сжимающих напряжений. При изготовлении деталей судна с применением алюминиевых сплавов удастся значительно увеличить ходкость судов и их маневренность. При этом по сравнению со сталями удастся уменьшить массу судна до 60 %.

Также существенными перспективами обладает применение алюминиевых сплавов в изготовлении железнодорожного транспорта. В настоящее время в мире ежегодно вводится в эксплуатацию несколько тысяч вагонов, выполненных из алюминиевых сплавов. Применение таких вагонов позволяет увеличить грузоподъемность вагона и существенно снизить затраты топлива и электрической энергии на перемещение по железной дороге.



Рисунок 1 – Примеры детали авиационной и космической техники, изготавливаемой из алюминиевых сплавов с применением сварки

«Применение алюминия в автомобилестроении позволяет улучшить динамические характеристики автомобиля, уменьшить расход топлива. Таким образом, транспортные конструкции, применение в которых сварных деталей из алюминия, могут быть применены в автомобилестроении, вагоностроении, судостроении, авиастроении и космической технике» [3].

Вторым преимуществом алюминиевых сплавов по сравнению со сталями является их высокая коррозионная стойкость, что позволяет существенно продлить срок эксплуатации транспортной конструкции в условиях действия агрессивной внешней среды. Особенно это актуально для судов, работающих в агрессивной морской воде, и автомобилестроении, так как работа транспорта проходит в условиях агрессивных дорожных сред.

Третьим преимуществом является высокая перерабатываемость алюминия, что позволяет решать проблему загрязнения природы старыми кузовами автомобилей и ломом, остающимся от других устаревших транспортных конструкций.

Применение алюминиевых сплавов в автомобилестроении позволяет также получать более сложные заготовки для изготовления кузова, так как алюминиевый сплав гораздо лучше поддается вытяжке, чем стальные заготовки. Для изготовления деталей кузова автомобиля применяются листовые заготовки толщиной 1,2...3 мм [21]. В качестве материала применяется сплав АМг2, АМг4, АМг6, 1523, 1535, 1419, САП, АД37.

Соединение заготовок происходит с применением контактной точечной сварки и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

На рисунке 2 представлена концептуальная конструкция кузова легкового автомобиля, при изготовлении которого применяется повышенное количество алюминиевых сплавов, по массе составляющее до 90 % от массы кузова. По требованиям безопасности часть деталей изготавливаются из высокопрочной стали, например, средние стойки. Крепление стальных деталей с алюминиевыми деталями выполняется с применением болтов и клея.



Рисунок 2 – Кузов автомобиля, выполненный на 90 % из алюминиевых сплавов

На рисунке 3 представлена типовая деталь автомобиля, при изготовлении которой применяется сплав АМгб – лонжерон автомобиля. Узел включает в себя несколько деталей, которые соединяются с применением контактной точечной сварки и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

В состав узла входят заготовки, соотношение толщин которых составляет 1+2, 1,5+2 и 2+3 мм. Параметры соединения представлены на рисунке 4. При изготовлении листовых заготовок предлагается применить листовую алюминий из сплава АМгб, для выполнения формовки деталей применяется холодная штамповка.

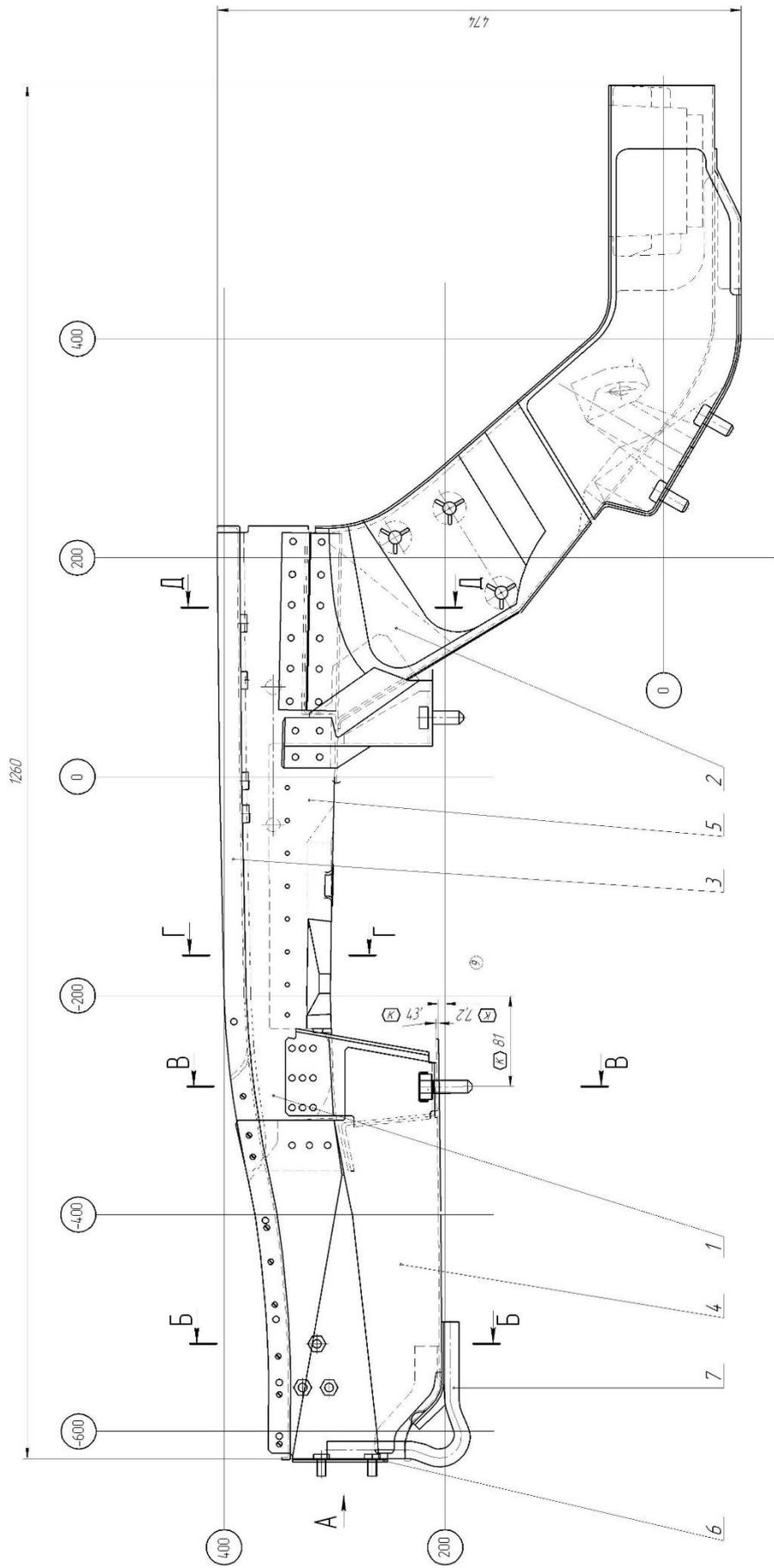


Рисунок 3 - Лонжерон передний правый в сборе

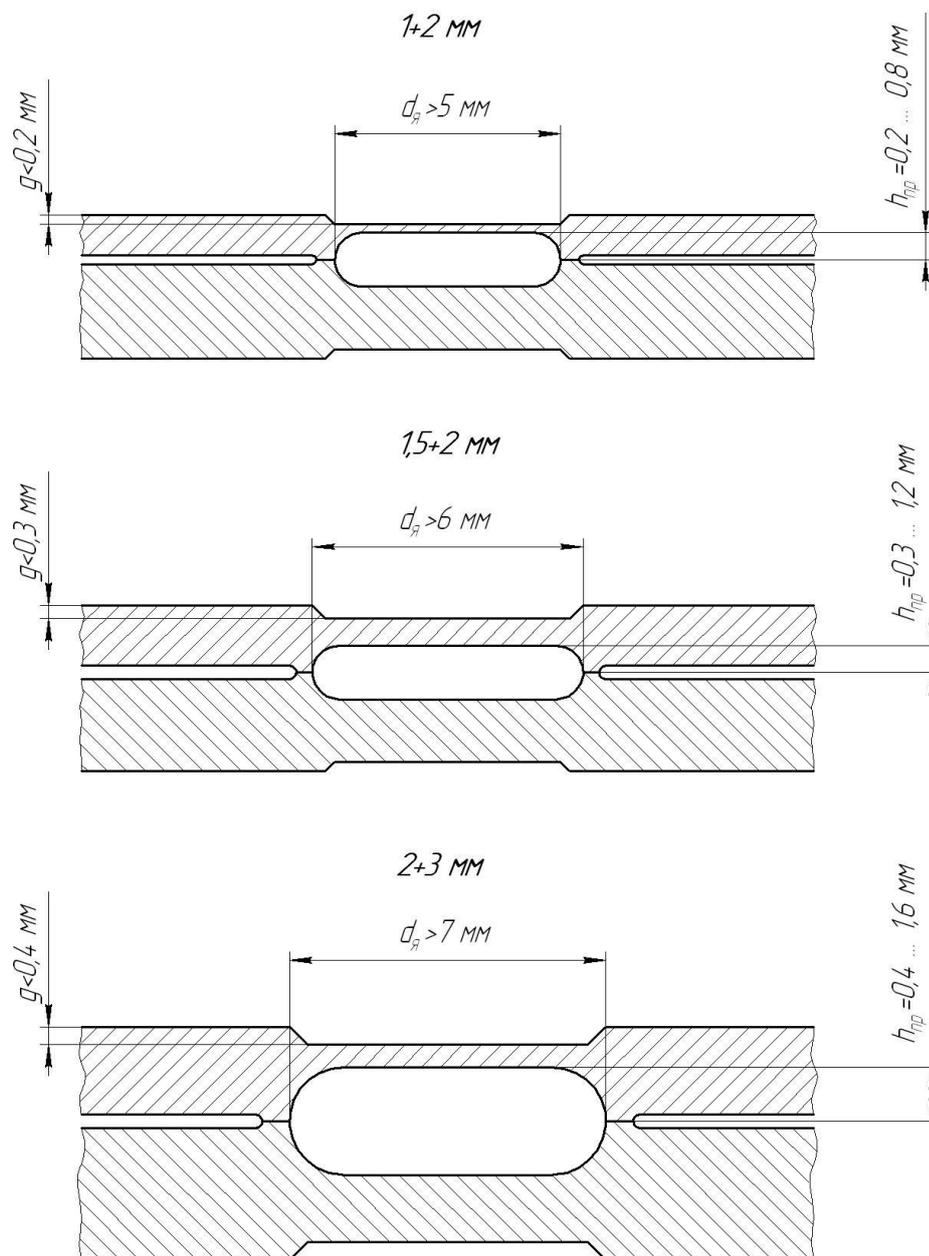


Рисунок 4 - Геометрические параметры выполняемого точечного сварного соединения в зависимости от толщины свариваемых заготовок

Общее количество выполняемых на узле сварных точек составляет 92 штуки, сварные точки выполняются на подвесных сварочных клещах, при этом заготовки стационарно закрепляют в ложементы сборочного приспособления, подводят сварочные клещи и проставляют сварные точки в заданных местах. Так как при сварке приходится работать с различным сочетанием толщин, применяют программируемый регулятор сварки, позволяющий задавать несколько групп параметров режима сварки.

1.2 Сведения о материале свариваемых деталей

Для заготовок рассматриваемого узла применяется листовой алюминиевый сплав АМгб. Данный сплав «относится к сплавам системы «алюминий-магний-марганец» и обладает высокими пластическими свойствами и высоким сопротивлением по отношению к коррозии. Данный сплав является термически неупрочняемым, полуфабрикаты из такого сплава поставляются» [3] в отожженном состоянии, для чего применяются относительно низкие температуры, составляющие 310...335 °С. Применяется именно низкотемпературный отжиг поскольку повышение температуры термической обработки сплава отрицательно сказывается на его коррозионной стойкости. Штамповка деталей в холодном состоянии приводит к повышению прочности материала, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках. В таблице 1 представлено содержание элементов в рассматриваемом сплаве.

Таблица 1 – Химический состав сплава АМгб

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti
Основа	до 0,1	5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	< 0,4	< 0,4	< 0,2	0,02 – 0,1

Следует отметить, что при контактной точечной сварке рассматриваемого сплава возникает ряд затруднений, которые значительно усложняют технологию и заставляют применять значительно более дорогое и сложное оборудование по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей. Во-первых, при сварке необходимо применять повышенные значения сварочного тока, что не позволяет использовать стандартные подвесные клещи, так как их мощности не будет хватать для формирования сварной точки. Также следует отметить необходимость приложения повышенных сварочных усилий, что усложняет конструкцию привода сжатия клещей. При контактной точечной сварке высока опасность получения несплошностей в сварной точке по причине пористости, окисных включений и раковин.

1.3 Особенности выполнения операций согласно базовой технологии сварки рассматриваемого узла с применением подвесных сварочных клещей

При изготовлении сварного узла применяется сборочное приспособление, включающее в себя комплект ложементов и пневматических прижимов, которое представлено на рисунке 5. На данном приспособлении последовательно укладывают и закрепляют лонжерон передний, соединитель лонжерона с полом, усилители лонжерона, кронштейны крепления и надстойку.

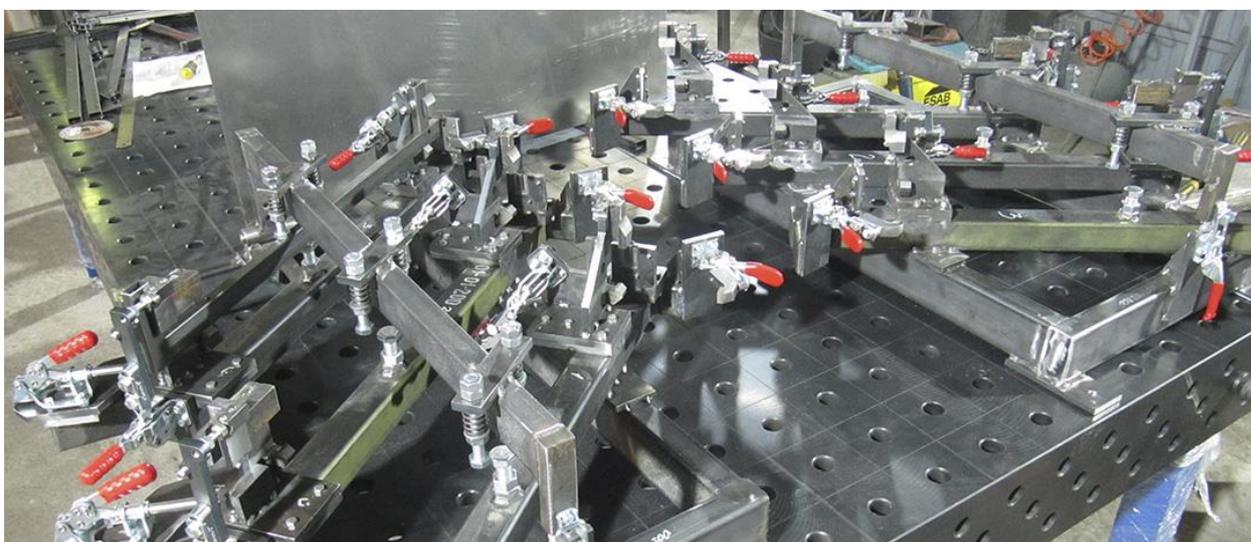


Рисунок 5 – Сборочная оснастка для фиксирования заготовок при сварке

Далее с применением подвесных сварочных клещей выполняют постановку сварных точек в количестве 92 штук. Для сварки в качестве электродов применяют электроды со сферической заточкой радиус сферы заточки рабочей поверхности составляет 50 мм. Усилие сжатия на электродах поддерживается системой подачи сжатого воздуха и составляет 3500 ньютонов. С применением программируемого регулятора контактной сварки для сварки различных сочетаний толщин устанавливаются следующие параметры режима. При сварке толщин 1+2 мм сила сварочного тока составляет 20 тысяч ампер при длительности сварочного импульса 0,18

секунды. При сварке сочетаний толщин 1,5+2 мм сила сварочного тока составляет 26 тысяч ампер при длительности импульса тока 0,26 секунды. При сварке сочетаний толщин 2+3 мм сила сварочного тока составляет 31 тысячу ампер при длительности импульса тока 0,30 секунды.

Для сварки рассматриваемого узла применяются представленные на рисунке 6 модернизированные подвесные сварочные клещи. В конструкцию сварочных клещей были внесены изменения, позволяющие им развивать требуемый сварочный ток. Так как при сварке алюминиевых деталей сила сварочного тока в несколько раз превышает силу сварочного тока на деталях из сталей аналогичной толщины, то развиваемого тока клещами, поставляемыми в стандартной комплектации, оказалось недостаточно. Для повышения силы сварочного тока была изменена схема подключения первичных обмоток сварочного трансформатора, установлены токоподводы увеличенного сечения и повышена интенсивность охлаждения токоведущих элементов сварочных клещей. Кроме того, при назначении темпа сварки продолжительность включения составила 1 %, что позволило в несколько раз уменьшить интенсивность сварки и снизить тепловую нагрузку на сварочные клещи. Применяемые в базовой технологии клещи TECNA 3184 относятся к серии Heavy Duty и позволяют в заводской комплектации обеспечить сварку с мощностью до 75 кВА, поддерживая ток до 32 кА (при коротком замыкании электродов).



Рисунок 6 – Подвесные сварочные клещи TECNA 3184, которые были использованы базовой технологией сварки с применением контактной точечной сварки

Базовая технология сварки, построение которой предусматривало применение стандартных заводских подходов к изготовлению деталей кузова автомобилей, признана неэффективной по следующему ряду причин.

Первой причиной является различное сочетание толщин, для сварки которых при использовании деталей из алюминиевых сплавов применение параметров режима, изменяющихся в широком диапазоне. Если ток сварки и продолжительность сварочного импульса могут быть установлены с применением регулятора контактной сварки, то для изменения усилия сжатия требуется применение привода сжатия, позволяющего управлять усилием на электродах, что существенно усложняет конструкцию сварочных клещей и заставляет применять несколько различных клещей для сварки одной детали. Также для обеспечения требуемого качества сварки при работе с различными толщинами требуется применение электродов с различным радиусом заточки рабочей поверхности. Это также усложняет технологию сварки, требуя применения нескольких клещей для сварки одной детали.

Второй причиной является высокая стоимость сварочного оборудования, так как для сварки алюминиевых деталей приходится применять клещи с дорогостоящим инверторным источником питания, поставляемым из-за рубежа. Кроме того, работа сварочных клещей в форсированном режиме приводит к быстрому выходу из строя силовых элементов инверторного источника питания.

Третьей причиной является высокая потребляемая мощность сварочного оборудования, что заставляет при организации производственного участка нести значительные затраты, связанные с подводкой необходимых электрических мощностей.

Четвертой причиной является низкая стабильность качества сварки, получаемой с применением подвесных сварочных клещей на деталях из алюминиевых сплавов, что не позволяет применить отработываемую базовую технологию при массовом производстве кузовов автомобилей из алюминиевых сплавов.

1.4 Обоснование эффективности применения точечной сварки сжатой дугой алюминиевых сплавов

Построение проектной технологии массового производства кузовных узлов автомобиля из алюминиевых сплавов предусматривает обоснование выбора способа сварки. При этом с учётом особенности свариваемого материала должны быть рассмотрены самые перспективные способы сварки [5], [9], [20].

Первым способом сварки, применение которого в массовом производстве давно налажено применительно к стальным деталям, является контактная точечная сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 7. Свариваемые детали сжимаются с усилием $P_{сж}$ двумя сварочными электродами, через которые пропускается сварочный ток от сварочного трансформатора, который обычно имеет один или два вторичных витка. Нагрев свариваемых деталей происходит за счёт пропускания через них сварочного тока, площадь протекания которого ограничивается рабочей поверхностью сварочных электродов. Данный способ сварки может быть применен как с использованием универсального сварочного оборудования (подвесные клещи и стационарные машины), так и с применением роботизированной сварки. Применение многоэлектродных машин для сварки деталей из алюминиевых сплавов представляется неперспективным, так как в процессе сварки приходится выполнять периодическую зачистку рабочей поверхности электродов, а на многоэлектродных сварочных машинах проведение такой процедуры затруднительно. Также при контактной точечной сварке деталей из алюминия приходится применять высокие значения сварочного тока, что усложняет организацию сварочного поста и заставляет увеличивать стоимость применяемого сварочного оборудования. Таким образом, несмотря на свои преимущества, при построении массового производства применение контактной сварки затруднено, и этот способ сварки на деталях кузова будет применен для экспериментальных образцов.

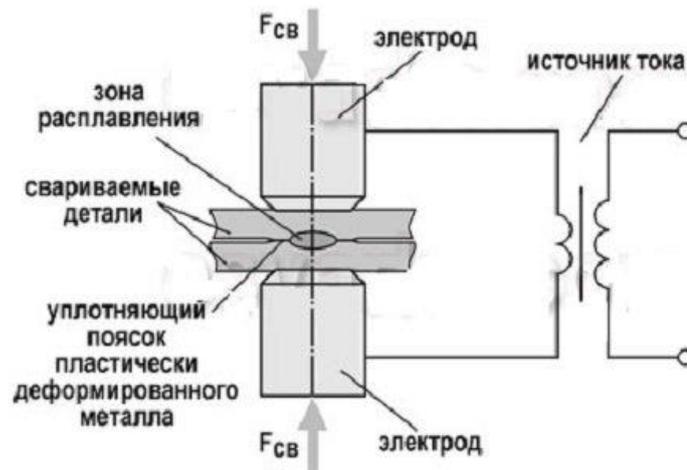


Рисунок 7 – Схема выполнения контактной точечной сварки

Следующим способом сварки листовых деталей из алюминиевых сплавов является сварка лазером, схема выполнения которой представлена на рисунке 8. Этот перспективный способ сварки может быть применен как для выполнения шовных соединений, так и для выполнения точечных сварных соединений. Производительность лазерной сварки в несколько раз превышает производительность дуговых способов сварки, а локальный нагрев позволяет успешно бороться с перегревом основного металла и образованием остаточных напряжений. Также при лазерной сварке успешно решается проблема наличия на поверхности деталей окисной пленки. Следует отметить, что при лазерной сварке расход инертного газа существенно выше, чем при плазменной сварке, так как помимо защитного газа необходимо подавать в зону сварки значительные объемы гелия, который необходим для подавления процесса плазмообразования, так как в этом случае произойдет рассеивание лазерного излучения и катастрофическое падение полезной мощности установки, которая начнет расходоваться не на нагрев деталей, а на нагрев газа. Лазерная сварка позволяет обеспечить соединение трудно свариваемых металлов и получить дозированное введение энергии в сварное соединение, что повышает технологические возможности способа. Недостатком лазерной сварки является высокая стоимость оборудования. Этот способ сварки не получил должного развития в массовом производстве деталей кузова

автомобиля, но должен рассматриваться как перспективный способ, применение которого в дальнейшем позволит повысить экономические показатели производства.

Соединение деталей кузова автомобиля из алюминиевых сплавов может быть выполнено с применением дуговых способов. Сварка электродзаклепками, представленная на рисунке 9, позволяет выполнять соединения как сталей, так и алюминиевых сплавов [1]. При этом производительность способа достигает 300 соединений в час. Свариваемые детали 1 обжимаются соплом 2, в зону которого подается защитный газ и плавящийся электрод 3, подвод тока к которому осуществляется через подвод 4. Питание дуги 9 происходит от силового трансформатора 7, работа которого управляется через пульт включения сварки 5 и регулирующие переключатели 6. Стабилизация процесса сварки обеспечивается дросселем 8.

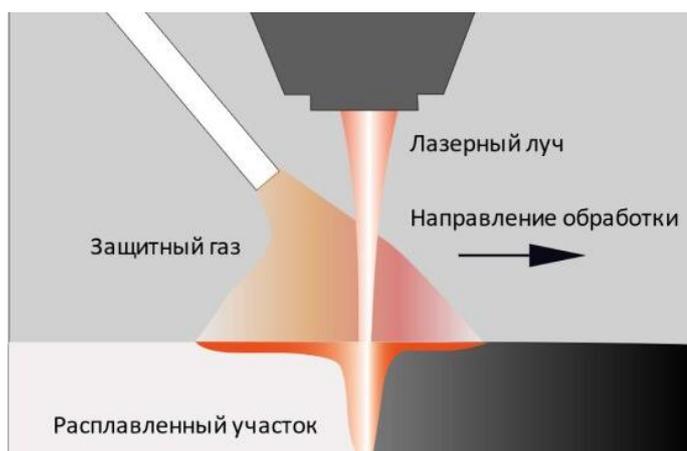


Рисунок 8 – Схема лазерной сварки

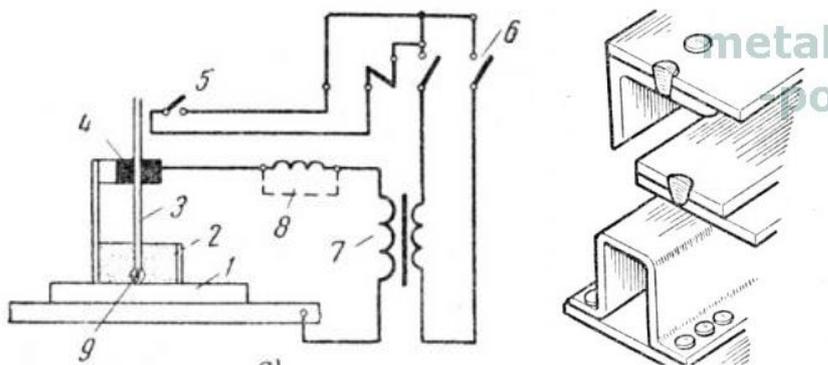


Рисунок 9 – Схема выполнения сварки электродзаклепками

При сварке электрозаклепками в качестве плавящегося электрода может быть применена как проволока сплошного сечения, так и порошковая проволока. Применительно к производству элементов кузова автомобиля следует указать главный недостаток сварки электрозаклепками – это низкое качество соединения и его плохой внешний вид. Существенным преимуществом сварки электрозаклепками перед контактной точечной сваркой является меньший ток сварки, что позволяет использовать для сварки стандартные шланговые полуавтоматы, модернизированные введением в схему устройства регулирования длительности сварочного импульса.

Высокие экономические показатели производства позволяет получить применение точечной сварки алюминиевых сплавов сжатой дугой [11], [19], схема выполнения которой представлена на рисунке 10. Первая стадия процесса формирования соединения, представленная на рисунке 10-а, включает в себя образование «на поверхности верхнего листа расплавления, которое по мере роста сварочной ванны увеличивается, а расплавленный металл вытесняется на периметр сварочной ванны, в результате чего в верхней детали образуется заглубливание. На второй стадии формирования соединения, представленной на рисунке 10-б, происходит полное проплавление верхней детали под действием тепла сжатой дуги. На третьей стадии формирования соединения, представленной на рисунке 10-в, расплавленный металл сварочной ванны под действием давления дуги вытесняется на периферию сварочной ванны, в результате чего сжатая дуга начинает воздействовать на нижнюю деталь, начиная проплавливать её. На четвертом этапе формирования сварного соединения, который представлен на рисунке 10-г, происходит рост объёма расплавленного металла на нижней детали, в результате чего он сливается с расплавленным металлом верхней детали» [11], и весь расплавленный металл сливается внутрь сварочной ванны под действием силы тяжести, подача сварочного тока при этом прекращается, и формируется общая для обеих деталей сварочная ванна, которая при кристаллизации обеспечивает формирование сварного соединения высокого качества.

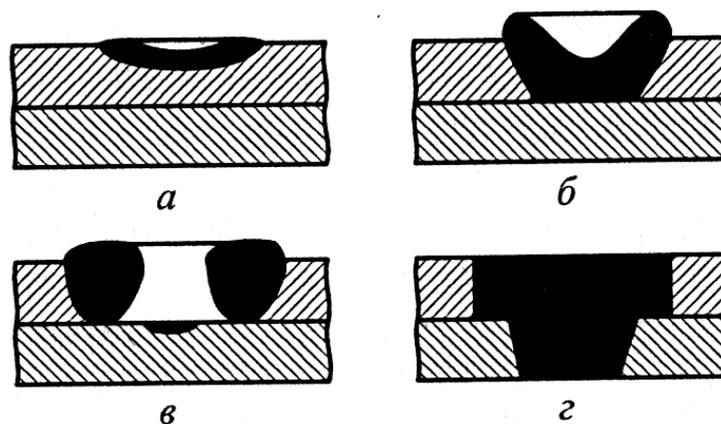


Рисунок 10 – Схема формирования сварочной точки при точечной плазменной сварке

Преимуществами плазменной сварки перед контактной точечной сваркой является стабильное качество сварных соединений и применение значительно меньшего сварочного тока, что позволяет уменьшить нагрузку на электрическую сеть и затраты на подвод к сварочному участку электрической энергии. Также следует отметить высокую технологическую гибкость процесса, что позволяет использовать одно и то же оборудование для сварки деталей различной толщины. Это особенно положительно скажется на стоимости построения экспериментального производства. Кроме того, масса рабочего инструмента для плазменной сварки существенно меньше массы инструмента для контактной точечной сварки, что существенно упростит роботизацию процесса сварки.

По сравнению лазерной сваркой плазменная сварка является более внедряемым процессом и характеризуется меньшей стоимостью применяемого оборудования. Также следует отметить меньший расход защитного газа.

По сравнению со сваркой электродоклепками плазменная сварка обладает большей производительностью и лучшими показателями качества.

На основании проведённого анализа следует сделать вывод, что для построения проектной технологии сварки кузовных элементов из алюминиевых сплавов наиболее целесообразно применить точечную плазменную сварку.

1.5 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки транспортных конструкций из алюминиевых сплавов

Выпускная квалификационная работа посвящена наукоёмкой теме повышения эффективности изготовления кузовных транспортных конструкций из алюминиевых сплавов за счёт внедрения точечной сварки сжатой дугой. Для выработки технологических решений предстоит опереться на опыт, накопленный в области управления сварочными процессами при сварке сжатой дугой, который описан в научной литературе. Для обеспечения высокого уровня предлагаемых разработок следует провести поиск и анализ источников научно-технической информации по рассматриваемому вопросу. Для поиска предлагается применить поисковые системы, работающие в сети ИНТЕРНЕТ. Особое внимание следует уделить базам знаний, таким как «Киберленинка», «Диссеркат», «Е-лайбрери» и «ПатонПаблиш». В базе «Диссеркат» имеется информация по диссертациям, которые были защищены по техническим наукам, в ней в открытом доступе могут быть найдены сами диссертации или авторефераты диссертаций. В случае, если автореферат или диссертация в базе отсутствуют, там будет выложена актуальность, методика и результаты исследования, а также полный список библиографических источников, который может быть использован в дальнейшей работе. В базе «Киберленинка» выложены в открытом доступе статьи в журналах и сборниках, система поиска позволяет найти и отфильтровать результаты. В базе «Е-лайбрери» выложена информация о научных работниках, их публикациях, есть возможность получить бесплатно или заказать за деньги тексты статей, описания патентов на изобретения. В базе знаний «ПатонПаблиш» выложены в открытом доступе статьи украинских исследователей-сварщиков, в основном, работающих совместно с сотрудниками Института электросварки им. Е.О. Патона. Таким образом, для дальнейшего анализа следует выбрать несколько наиболее представительных

источников, которые послужат основой для написания выпускной квалификационной работы.

В первой работе [23] описываются исследования точечной плазменной сварки листовых деталей из алюминиевых сплавов. На основании метода источников тепла составлена математическая модель процесса распространения тепла при сварке, которая была апробирована, доказана высокая точность, необходимая для применения предложенной модели в промышленности и при проведении исследований в области плазменной сварки. Предложены методики расчётного определения оптимальных параметров режима сварки на основании предложенной физической модели процесса формирования сварной точки. В качестве защитной и плазмообразующей смеси предлагается при применении смесь аргона и гелия. Результаты этой работы будут использованы для составления математической модели распространения тепла при точечной сварке сжатой дугой, на основании которой будут составлены номограммы оптимальных параметров режима сварки.

Во второй работе [17] исследовано влияние параметров режима сварки при точечной плазменной сварке на переменном токе деталей из алюминиевых сплавов. Установлено, что при точечной плазменной сварке на размеры остаточного кратера оказывает влияние три параметра – ток сварки, длительность импульса сварки и расход газа. При повышении толщины свариваемых деталей влияние расхода газа на величину усадки увеличивается. Результаты этой работы будут использованы для выбора оптимальных параметров режима сварки в зависимости от толщины свариваемых деталей. Также данная работа показала эффективность точечной плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов сжатой дугой, питаемой от источника переменного тока.

В третьей работе [18] для исследования тепловых процессов при точечной плазменной сварке предложена эффективная расчётная методика, позволяющая с высокой точностью оценивать составляющие теплового

баланса при сварке. Увеличение длительности импульсов тока прямой полярности приводит к снижению нагрева деталей и уменьшению проплавления деталей. Для достижения гарантированного проплавления деталей при точечной плазменной сварке разнополярными импульсами тока доля импульса обратной полярности должна составлять 40...50 %, что обеспечивает удовлетворительную стойкость неплавящегося электрода. Результаты этой работы будут использованы для выбора оптимальных параметров режима сварки. Также данная работа показала эффективность точечной плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов сжатой дугой, питаемой импульсами тока различной полярности.

В четвертой работе [11] предлагается оригинальная конструкция горелки, снабженной дополнительным металлическим кольцом. В процессе сварки давление сжатой дуги на центр сварной точки компенсируется магнитным полем, которое формируется от замкнутого кольца, в результате чего уменьшается размер усадочного кратера. Предлагаемая конструкция обладает промышленной применимостью и позволяет значительно уменьшить размеры усадочного кратера при выполнении точечной соединения плазменной сваркой. Результаты работы будут использованы для обоснования выбора оборудования для выполнения точечной плазменной сварки и построения проектной технологии сварки.

В пятой работе [24] описаны мероприятия по повышению эффективности сварки сжатой дугой на обратной полярности. Предложена оригинальная конструкция плазматрона, для чего проведен анализ эффективности альтернативных конструкций плазматронов при сварке сжатой дугой на обратной полярности. Результаты этой работы будут использованы при назначении оптимальных параметров режима плазменной сварки на обратной полярности.

1.6 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности сварки корпусных конструкций транспорта из алюминиевых сплавов. Для построения проектной технологии на основании анализа источников научно-технической информации обоснован выбор точечной плазменной сварки, применение которой позволяет повысить энергетическую эффективность оборудования и улучшить эксплуатационные свойства конструкции по сравнению с контактной точечной сваркой и дуговыми способами сварки. Для достижения поставленной цели следует выполнить постановку задач выпускной квалификационной работы, которые в ходе своего решения позволят получить требуемый результат.

Первой задачей является выбор концепции построения плазматрона и источника питания. При сварке сжатой дугой алюминиевых сплавов, как это было описано в найденных источниках научно-технической информации, возможно питание дуги от переменного тока (обеспечивается удовлетворительное качество сварки в сочетании с удовлетворительной стойкостью плазматрона), постоянного тока на обратной полярности (улучшается процесс очистки поверхности металла от загрязнений и окисной пленки но существенно снижается стойкость плазматрона). Также возможно питание сжатой дуги разнополярными импульсами тока, что расширяет технологические возможности способа, но требует применения более сложных систем управления сваркой.

Второй задачей является оптимизация параметров точечной сварки сжатой дугой, для чего могут быть применены методы математического моделирования. На основании математической модели процесса распространения тепла при сварке могут быть построены номограммы для определения оптимальных параметров режима сварки в зависимости от

начальных условий (толщина свариваемых деталей и материал свариваемых деталей, требования к сварному соединению).

Третьей задачей является поиск средств автоматизации и роботизации рассматриваемого способа сварки. Так как в настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сварка транспортных конструкций, то такое производство может быть отнесено к массовому производству, поэтому для реализации предлагаемого способа должны быть применены методики повышения производительности технологических процессов – применение специализированного автоматического сварочного оборудования или роботизация сварочного производства.

Четвертой задачей является построение технологического процесса сборки и сварки типовой детали транспортной конструкции. Для решения этой задачи необходимо составить перечень технологических операций и назначить технические условия для их выполнения. Для каждой операции следует прописать особенности её выполнения, применяемое оборудование и параметры режима.

Далее по результатам исполнительского раздела выпускной квалификационной работы предстоит выполнить оценочные разделы. В первом оценочном разделе предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые будут возникать при реализации проектной технологии. Далее следует предложить меры защиты от выявленных факторов, а также мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и повышению экологической ответственности производителя работ [2], [4]. Во втором оценочном разделе предстоит рассчитать основные экономические показатели, характеризующие работ производственного участка при реализации базовой технологии сварки и при реализации проектной технологии сварки. На основании сравнения этих показателей следует сделать вывод об эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений [8], [10].

2 Построение проектной технологии точечной плазменной сварки

2.1 Особенности сварки на постоянном токе обратной полярности

В работе [23] проведены исследования точечной плазменной сварки листовых деталей из алюминиевых сплавов. На основании метода источников тепла составлена математическая модель процесса распространения тепла при сварке, которая была апробирована, доказана высокая точность, необходимая для применения предложенной модели в промышленности и при проведении исследований в области плазменной сварки. Предложены методики расчётного определения оптимальных параметров режима сварки на основании предложенной физической модели процесса формирования сварной точки. В качестве защитной и плазмообразующей смеси предлагается при применении смесь аргона и гелия.

В работе предложены научно обоснованные методики экспериментального исследования энергетических характеристик плазменной дуги, состояния электродов. Установлено преимущество сжатой дуги, питаемой постоянным током обратной полярности, перед сжатой дугой, которая питается постоянным током прямой полярности. Установлено определяющее влияние состава плазмообразующего газа на работу плазматрона в режиме горения дуги обратной полярности.

Предлагаемая схема с питанием сжатой дуги током обратной полярности представлена на рисунке 11. Кроме этой для сварки сжатой дугой деталей из алюминиевых сплавов могут быть применены схемы с питанием дуги переменным током, которая представлена на рисунке 12, и сварка трехфазной сжатой дугой, которая представлена на рисунке 13. Для этих рисунков принято одинаковое цифровое обозначение позиций. Сжатая дуга горит между электродом и изделием 2, получая питание от источника тока 1. Подача плазмообразующего газа $\Gamma_{\text{п}}$ осуществляется через изолятор-завихритель 3.

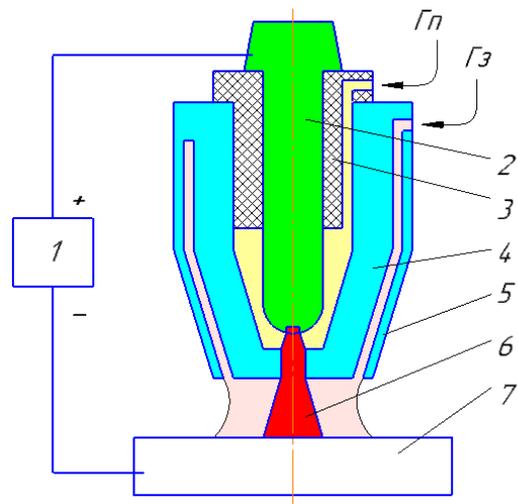


Рисунок 11 – Схема сварки сжатой дугой на обратной полярности

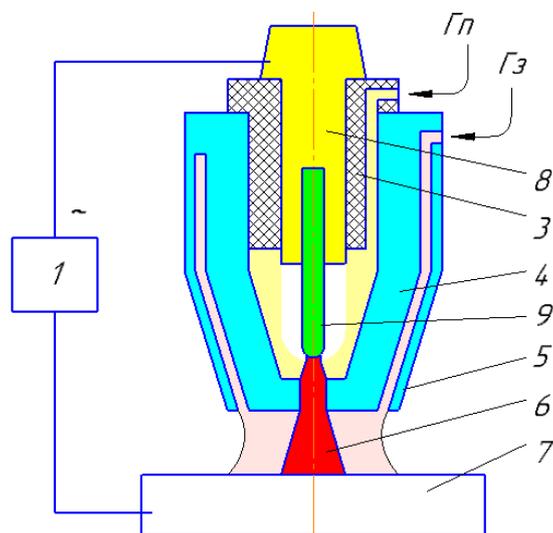


Рисунок 12 – Схема питания сжатой дуги переменным током

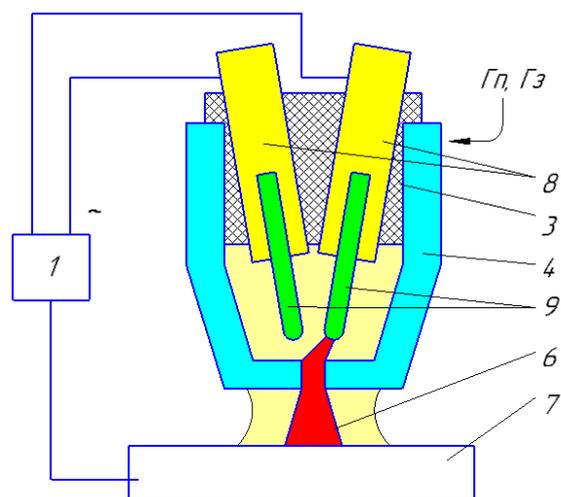


Рисунок 13 – Схема питания трехфазной сжатой дуги

Сжатие дуги обеспечивается плазмообразующим соплом 4, защита зоны сварки обеспечивается защитным соплом 5. При использовании вольфрамового электрода 9 он закрепляется в электрододержателе 8.

Сварка сжатой дугой на обратной полярности обладает рядом преимуществ, которые обуславливают продолжение исследований в этом направлении [25], [26]. Первым преимуществом является стабильность процесса катодного распыления, что позволяет обеспечить очистку поверхности свариваемых деталей от окисной пленки. Вторым преимуществом применения сварки на обратной полярности является высокая эффективность управления энерговыделением в зоне образования сварного соединения. Третьим преимуществом является обеспечение оптимального силового воздействия на сварочную ванну, что позволяет успешно решать проблему пористости и формирования оптимальной структуры сварного соединения.

Первым недостатком сварки на обратной полярности является высокая сложность плазматрона по сравнению со сваркой на прямой полярности, так как приходится повышать интенсивность охлаждения электрода. Вторым недостатком является возможность перегрева изделия, что особенно проявляется при сварке деталей малой толщины. Третьим недостатком является повышенная тепловая нагрузка на неплавящийся электрод, что становится причиной ускорения его износа.

2.2 Особенности сварки на переменном токе

Питание сжатой дуги переменным током позволяет упростить источник питания. За счёт попеременного горения сжатой дуги на прямой и обратной полярности уменьшается тепловое воздействие на неплавящийся электрод, который при горении дуги на прямой полярности успевает охладиться, что позволяет повысить стойкость вольфрамового электрода. За время горения дуги на обратной полярности обеспечивается удовлетворительная степень

очистки деталей. Сварка на переменном токе может рассматриваться как компромиссный вариант, позволяющий сочетать преимущества сварки на прямой и обратной полярности.

Среди недостатков сварки сжатой дугой на переменном токе следует указать низкую стабильность горения дуги при переходе сварочного тока через ноль. Вторым недостатком является интенсивное охлаждение сварочной дуги струей плазмообразующего газа при переходе тока через ноль. Третьим недостатком является разрушение сопла плазматрона из-за двойного дугообразования. Для повышения стабильности горения дуги приходится прибегать к дополнительным средствам в виде стабилизаторов дуги, что существенно усложняет аппаратуру для сварки.

Для повышения эффективности сварки на переменном токе может быть применена сварка с регулируемыми импульсами тока [18]. При сварке применяли питание сжатой дуги разнополярными импульсами, амплитуду и длительность каждого импульса регулировали. На рисунке 14 представлена форма тока при питании дуги разнополярными импульсами. При проведении экспериментальной сварки был использован плазматрон ДСД-1М, подачу аргона вели с расходом 8 литров в минуту. Выполняли сварку пластин из сплава АМц толщиной 2+2 мм. Для питания сварочной дуги применяли источник питания «Брига». Ток в импульсах прямой и обратной полярностей составлял 110 ампер. В процессе эксперимента при сварке различных образцов изменялось соотношение длительности импульсов прямой и обратной полярности от 0,6/0,4 до 0,9/0,1.

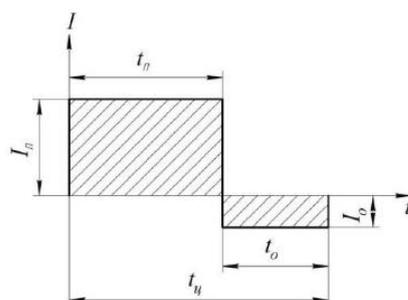


Рисунок 14 – Форма импульсов тока при питании сжатой дуги разнополярными импульсами

При сварке получено полное проплавление сварных точек. На каждом режиме выполняли по три сварные точки. Установлено, что диаметры точек с лицевой и обратной стороны изменяются незначительно. Для исследования тепловых процессов при точечной плазменной сварке предложена эффективная расчётная методика, позволяющая с высокой точностью оценивать составляющие теплового баланса при сварке. Увеличение длительности импульсов тока прямой полярности приводит к снижению нагрева деталей и уменьшению проплавления деталей. Для достижения гарантированного проплавления деталей при точечной плазменной сварке разнополярными импульсами тока доля импульса обратной полярности должна составлять 40...50 %, что обеспечивает удовлетворительную стойкость неплавящегося электрода. На рисунке 15 представлены плазматроны ГСД-1М и Abiplast, продемонстрировавшие высокую эффективности при выполнении точечной плазменной сварки на переменном токе [26].

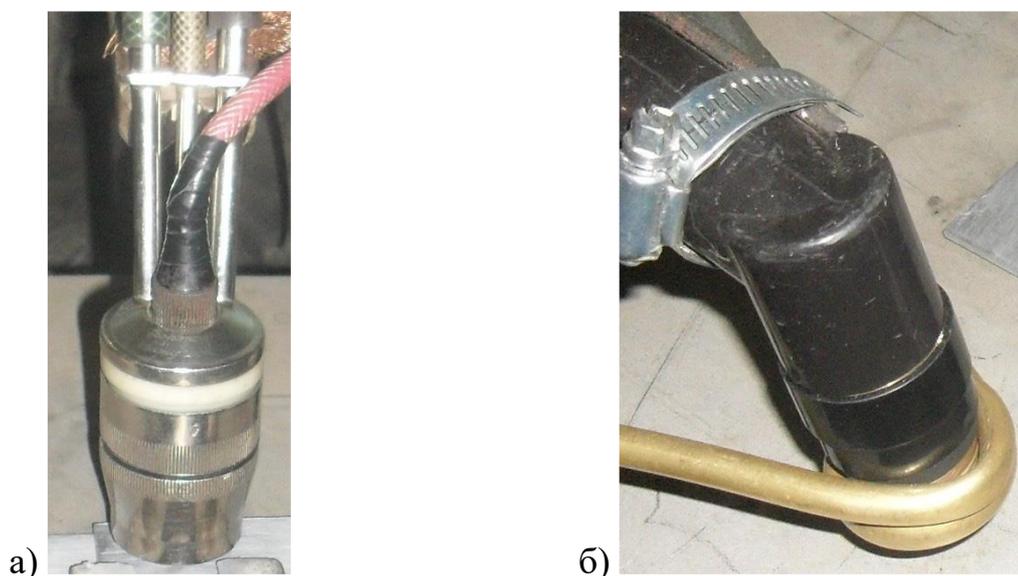


Рисунок 15 – Плазматроны ГСД-1М (а) и Abiplast (б)

Для питания сжатой дуги переменного тока предлагается применить источник ТДМ-402-У2, оснащение которого стабилизатором дуги позволяет повысить эффективность сварки [7].

2.3 Особенности сварки трехфазной сжатой дугой

Схема сварки трехфазной сжатой дугой представлена на рисунке 16 и включает в себя изделие 7 и три поочередно горящие дуги. Первая дуга горит между неплавящимися электродами 1. Ещё две дуги горят между неплавящимися электродами 1 и изделием 7. В течение всего времени процесса сварки поочередно горят дуги, в результате процесс стабилизируется. Также применение трехфазной дуги позволяет разгрузить питающую сеть предприятия и повысить коэффициент мощности применяемого оборудования. Сжатие дуги выполняется водоохлаждаемым соплом 4, в котором установлена тугоплавкая вставка 5. Неплавящиеся электроды 1 устанавливаются в электрододержатели 3, установленными в изоляторе 2. Питание дуги обеспечивается от трехфазного источника переменного тока 6.

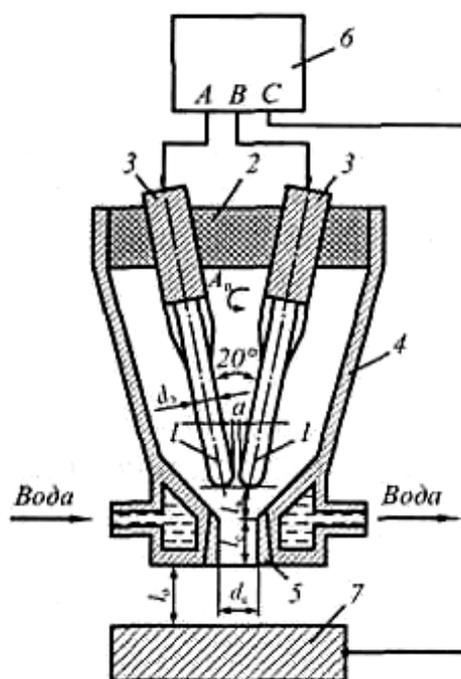


Рисунок 16 – Схема сварки трехфазной сжатой дугой

По сравнению со свободно горящей дугой процесс сварки сжатой дугой менее восприимчив к изменению расстояния от горелки до изделия, что

позволяет обеспечивать стабильный процесс при ремонтной сварке по сложной траектории. Также следует принять во внимание, что применение сжатой дуги позволяет уменьшить расходы на защитный газ по сравнению со сваркой свободно горячей дугой. Плазменный процесс также позволяет повысить интенсивность процесса катодной очистки.

2.4 Способ плазменной точечной сварки

Российскими исследователями [11] предложена эффективная конструкция плазматрона, обеспечивающая высокое качество точечной плазменной сварки. Для сварки предлагается применить представленную на рисунке 18 горелку для плазменной сварки. В состав горелки входят корпус и крышка, которые на схеме обозначены позициями 1 и 2. Между корпусом и крышкой расположен диэлектрический изолятор, обозначенный на схеме позицией 3. Конструкция горелки фиксируется при помощи стяжной гайки, которая обозначена на схеме позицией 4. Внутри корпуса 1 выполнена водоохлаждаемая камера, к которой посредством гайки 4 притягивается вставка 6, которая имеет канал 7 для формирования сжатой дуги. Электрододержатель 8 и размещаемый в нем вольфрамовый электрод 9 закреплены в центре крышки 2. Рабочий конец вольфрамового электрода расположен напротив плазмообразующего канала 7. На нижней части корпуса закреплена неэлектропроводная насадка 10, фиксируемая при помощи металлического кольца 11. При сварке деталей 12 формируется сварное соединение 13 в виде сварной точки. В процессе сварки давление сжатой дуги на центр сварной точки компенсируется магнитным полем, которое формируется от замкнутого кольца 11, в результате чего уменьшается размер усадочного кратера.

Предлагаемая конструкция обладает промышленной применимостью и позволяет значительно уменьшить размеры усадочного кратера при выполнении точечной соединения плазменной сваркой.

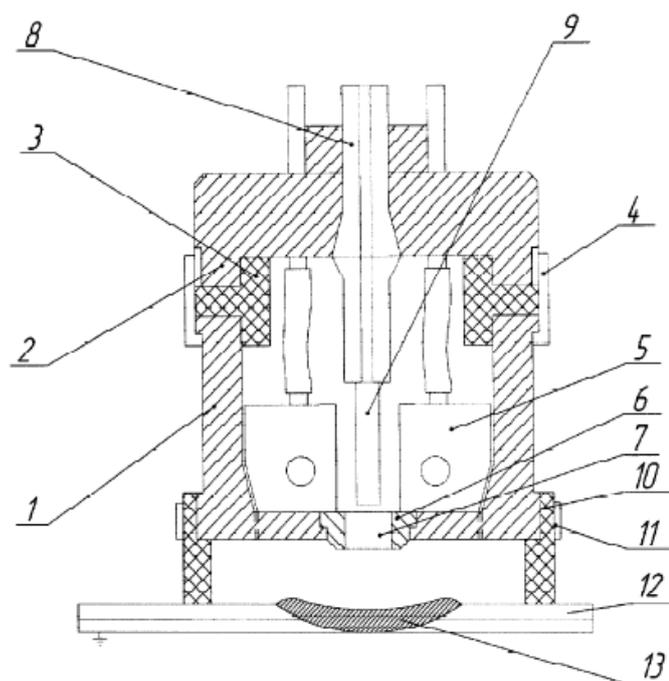


Рисунок 17 – Предлагаемая конструкция горелки для точечной плазменной сварки

С учётом рассмотренной конструкции горелки и того, что при сварке сжатой дугой деталей из алюминиевых сплавов высокой эффективностью обладает дуга, горящая на обратной полярности, для построения проектной технологии предлагается применить плазматрон согласно [12].

Конструкция плазматрона позволяет горение трех типов дуг. В режиме возбуждения дуги, который представлен на рисунке 17, «первоначально зажигается сжатая дуга 11 между пусковым электродом 3 и изделием 9. Эта дуга является дежурной и обеспечивает стабильность зажигания сварочной дуги. Далее загорается сварочная сжатая дуга 8, которая горит между кольцевым электродом 2 и изделием 9. В режиме заварки кратера, который представлен на рисунке 18, на изделие горит две дуги. Сварочная дуга 8 между кольцевым электродом 2 и изделием 9, а также свободная дуга 14 между плавящимся электродом 4 и изделием 9» [1]. Таким образом, проплавление деталей обеспечивается сжатой сварочной дугой 8, а заплата кратера обеспечивается свободно горящей дугой 14.

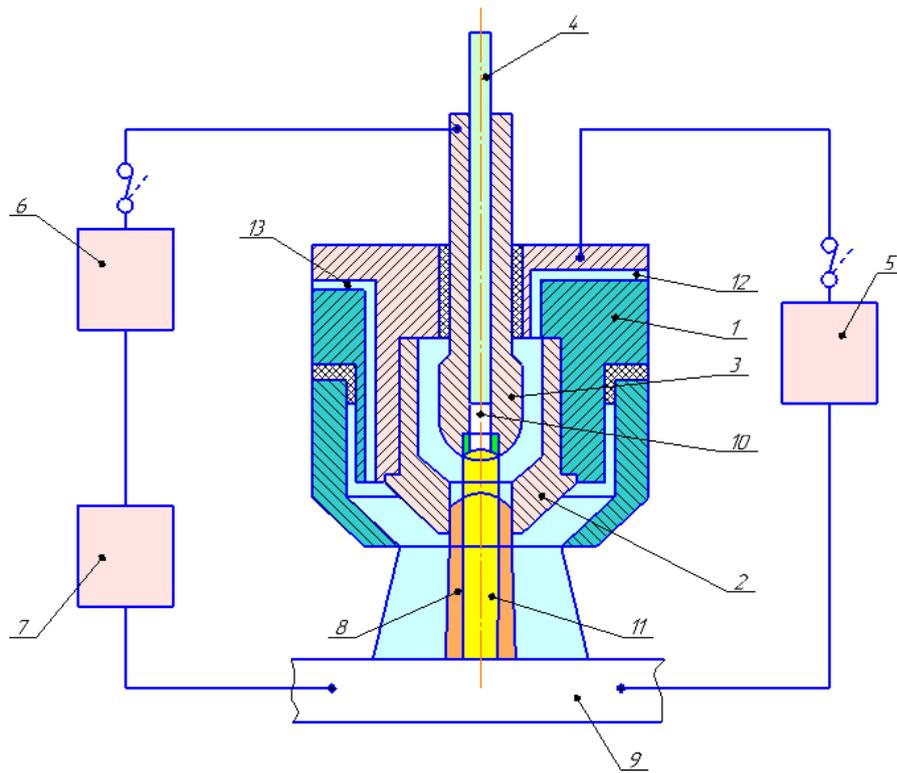


Рисунок 18 – Работа горелки в режиме возбуждения дуги и сварки

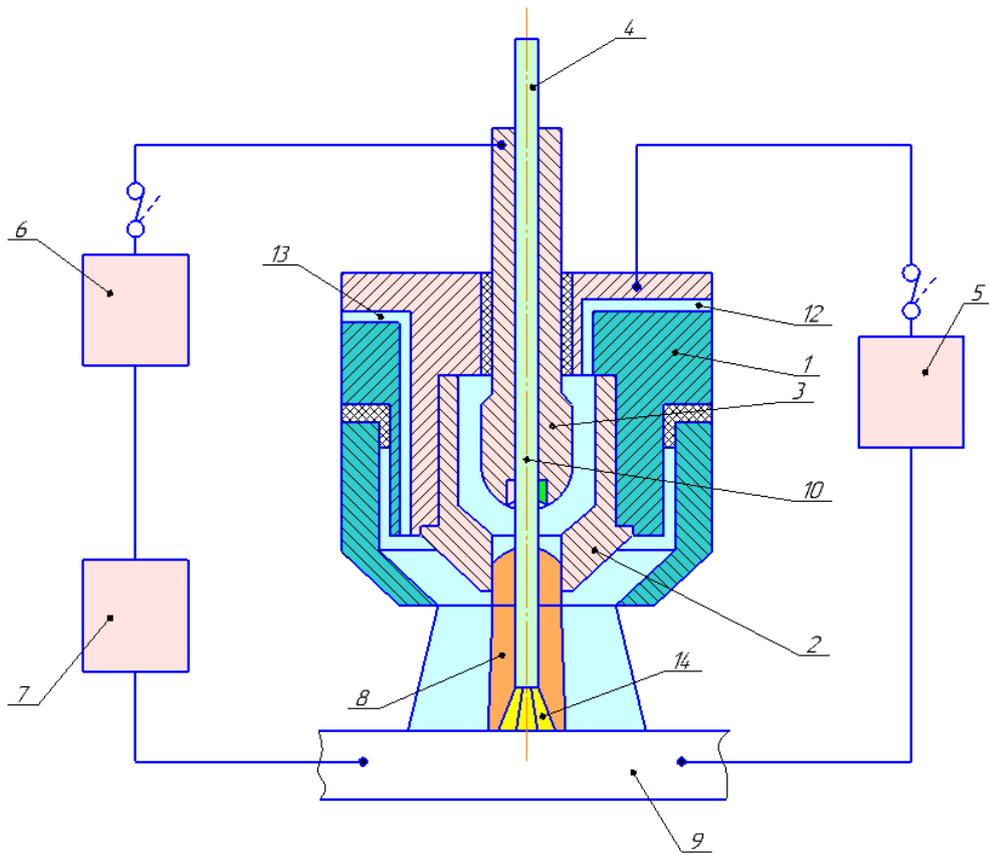


Рисунок 19 – Работа горелки в режиме заварки кратера

Питание дежурной дуги и свободной дуги обеспечивается источником 6. Питание сжатой сварочной дуги обеспечивается источником 5. Стабильное зажигание дежурной дуги обеспечивается осциллятором 7.

Пусковой электрод 3 имеет осевое отверстие 10, через которое выполняется подача плавящегося электрода 4. Подача защитного газа выполняется через канал 13. Подача плазмообразующего газа выполняется через канал 12. Элементы горелки закреплены на корпусе 1.

2.5 Автоматизация сварки сжатой дугой

Поскольку рассматриваемая в настоящей выпускной квалификационной работе деталь будет выпускаться на предприятиях автомобилестроения, то предполагается её массовое производство. Для повышения экономических показателей производства следует применить средства роботизации.

Для роботизации сварки предлагается применить представленный на рисунке 20 шестиосный промышленный робот IR 161/15, который может быть применен как для дуговой, так и для плазменной сварки и позволяет манипулировать инструментом массой до 15 кг.

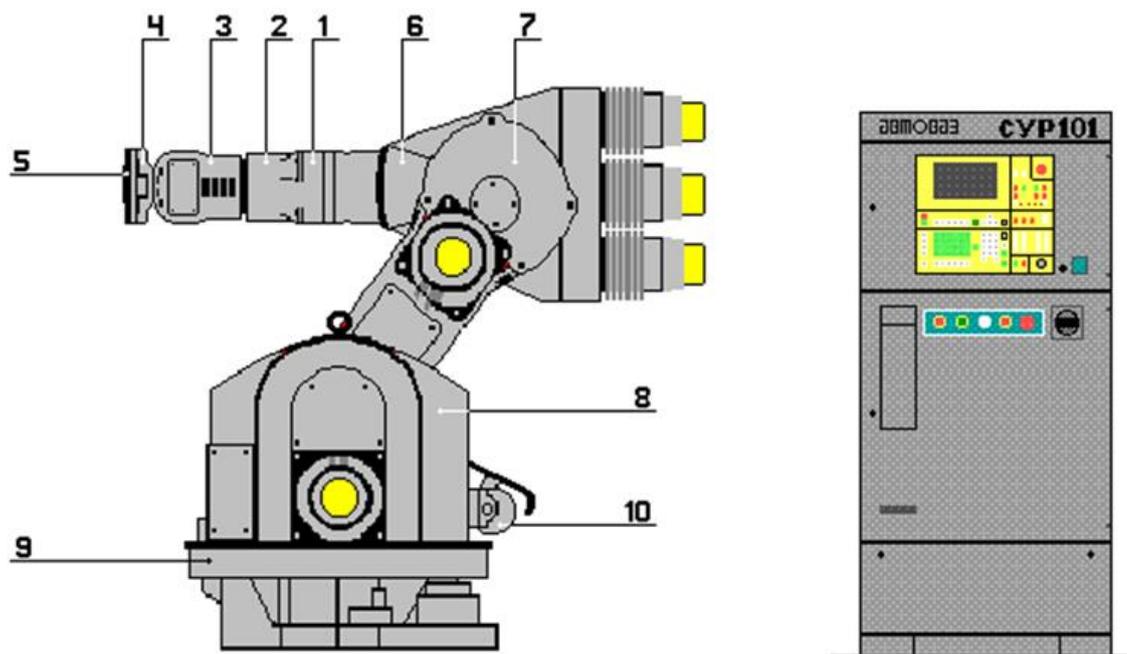


Рисунок 20 – Шестиосный промышленный робот IR 161/15

В состав промышленного робота, представленного на рисунке 20, входит: блок передачи момента вращения на оси 1 и 3, опоры осей 2 и 4, фланец крепления инструмента 5, основание руки 6, коромысло 7, карусель 8, базисное основание 9, узел уравнивания 10.

Масса робота составляет 760 кг. Точность позиционирования инструмента обеспечивается на уровне 0,2 мм, что достаточно для простановки сварных точек на рассматриваемом узле. Конструкция робота позволяет выполнить его установку как в напольном исполнении, так и в настенном и потолочном исполнении. Количество независимо программируемых осей робота составляет 6 штук при грузоподъёмности 15 кг. Шкаф управления роботом имеет массу порядка 600 кг.

Роботизированный сварочный комплекс представлен на рисунке 21 и включает в себя вытяжной шкаф 1, источник питания 2, шкаф управления 3, токоподвод 4, стойку 5, сварочный робот 6, ограждение 7, сборочно-сварочную оснастку 8, поворотный стол 9, контейнер 10.

При проектировании роботизированного технологического комплекса учитывались следующие требования. Во-первых, компоновка комплекса должна позволять свободный доступ сварочного робота к выполняемым соединениям. Во-вторых, все элементы управления роботизированным комплексом должны быть расположены в одном месте, откуда удобно вести программирование и наблюдение за работой комплекса. В-третьих, необходимо обеспечить максимальную безопасность персонала при работе, программировании и обслуживании роботизированного технологического комплекса. В-четвертых, компоновка комплекса должна быть выполнена с соблюдением условий экономии площади сварочного цеха и быть оптимально спроектирована.

При работе комплекса оператор укладывает заготовки в ложементы кондуктора, который расположен на поворотном столе, далее нажимает на кнопку двуручного включения, после чего стол поворачивается, и заготовки оказываются в рабочей зоне робота.

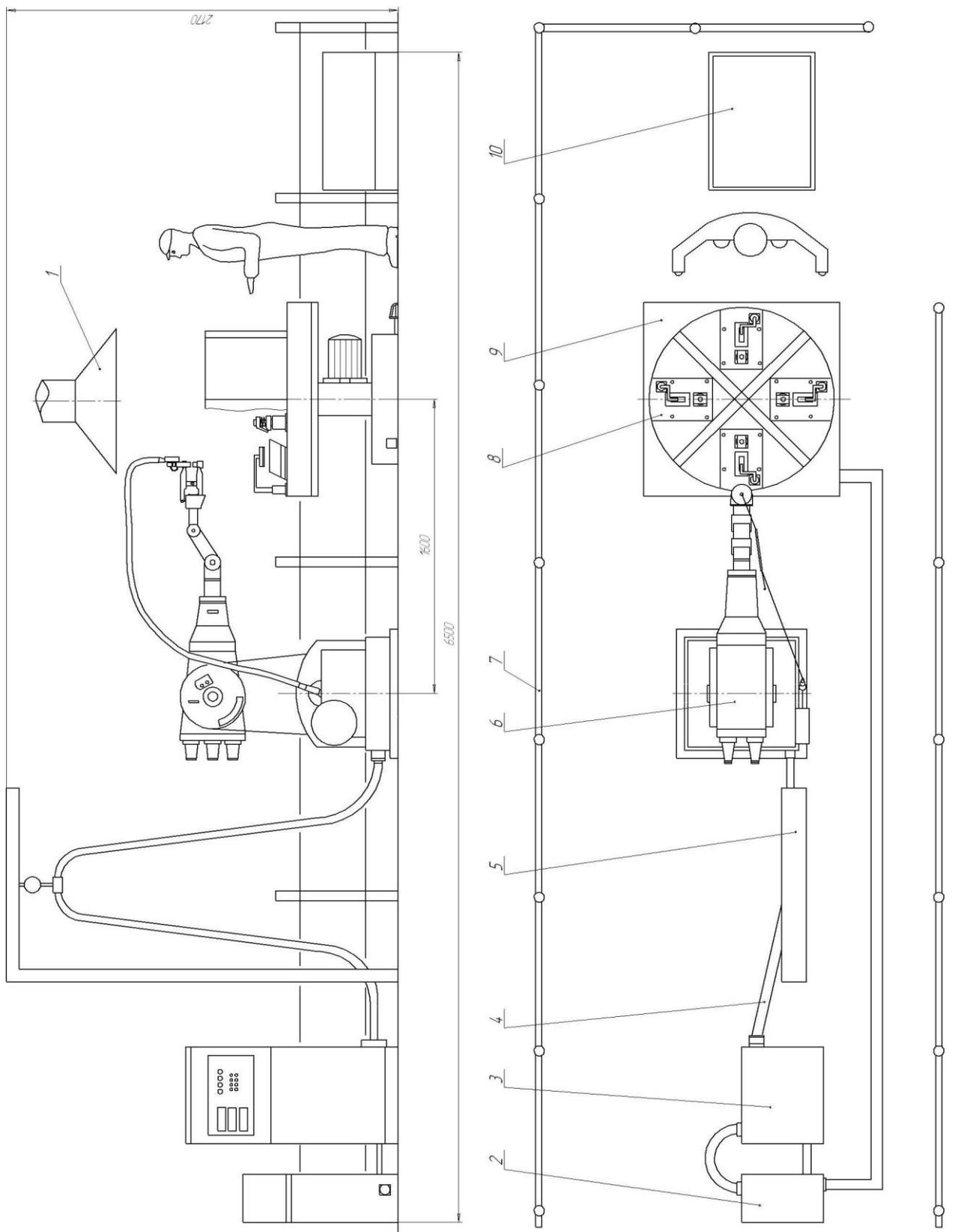


Рисунок 21 – Роботизированный технологический комплекс

Далее робот выполняет простановку сварных точек в соответствии с заданной циклограммой, программирование которой проводится с учётом оптимальности перемещения и динамических нагрузок на инструмент. При повороте стола напротив оператора оказывается ранее сваренный узел, который извлекается из ложементов и укладывается в обратную тару для выполнения последующих операций технологического процесса.

Роботизированный комплекс спроектирован таким образом, что оператор ни при каких условиях не окажется в рабочей зоне сварочного робота.

2.6 Оптимизация параметров режима сварки при помощи математического моделирования

Моделирование тепловых процессов при сварке предлагается выполнить с использованием метода источников тепла [14], [22], применение которых позволяет провести вычисления с приемлемой для первого приближения точностью без привлечения значительных вычислительных мощностей.

В качестве нагреваемого тела примем бесконечную пластину, такой выбор является правомочным, так как толщина свариваемых деталей намного меньше, чем их протяженность. В качестве источника тепла предлагается применить линейный источник тепла, так как плазменная сварка характеризуется высокой концентрацией тепловой энергии. Таким образом, для расчёта температуры нагреваемого тела толщиной δ при удельной теплоемкости материала c_p и коэффициенте температуропроводности a на расстоянии r от источника тепла может быть применена формула

$$T = \int_0^{t_{св}} \frac{q dt}{\delta c_p (4\pi a t)} e^{-\frac{r^2}{4at}}, \quad (2)$$

в которой время сварки $t_{св}$ задается аппаратурой управления. Мощность источника тепла вычисляется с учётом тока дуги I , напряжения на дуге U и эффективного КПД теплового процесса η :

$$q = \eta \cdot I \cdot U = \eta \cdot q_{эл} \quad . \quad (3)$$

При сварке деталей толщиной 1+2 мм диаметр сварной точки должен составлять не менее 5 мм. При сварке деталей толщиной 1,5+2 мм диаметр сварной точки должен составлять не менее 6 мм. При сварке деталей толщиной 2+3 мм диаметр сварной точки должен составлять не менее 7 мм. С учетом температуры плавления алюминия 660 °С решением тепловой задачи будут параметры (электрическая мощность $q_{эл}$ и время сварки $t_{св}$).

При сварке листов различной толщины распределение тепловой мощности между ними представим пропорционально отношению их толщин, как это представлено в таблице 2 с учётом эффективного КПД теплового процесса.

На рисунке 22 представлены изотермы теплового поля в тонком листе и распределение температуры по толщине листов для случая сварки листов толщиной 1+2 мм. На рисунке 23 представлены изотермы теплового поля в тонком листе и распределение температуры по толщине листов для случая сварки листов толщиной 1,5+2 мм. На рисунке 24 представлены изотермы теплового поля в тонком листе и распределение температуры по толщине листов для случая сварки листов толщиной 2+3 мм.

Таблица 2 – Параметры теплового расчета

Время сварки $t_{св}$	Мощность $q_{эл}$	Мощность q	Толщина листов	Мощность в листе	Диаметр точки	
1	1 с	4400 Дж	3900 Дж	1 мм	1300	5,4 мм
				2 мм	2600	5,4 мм
2	1,2 с	5100 Дж	4600 Дж	1,5 мм	2000	6,2 мм
				2 мм	2600	5,9 мм
3	2 с	6900 Дж	6200 Дж	2 мм	2500	7,1 мм
				3 мм	3700	7,0 мм

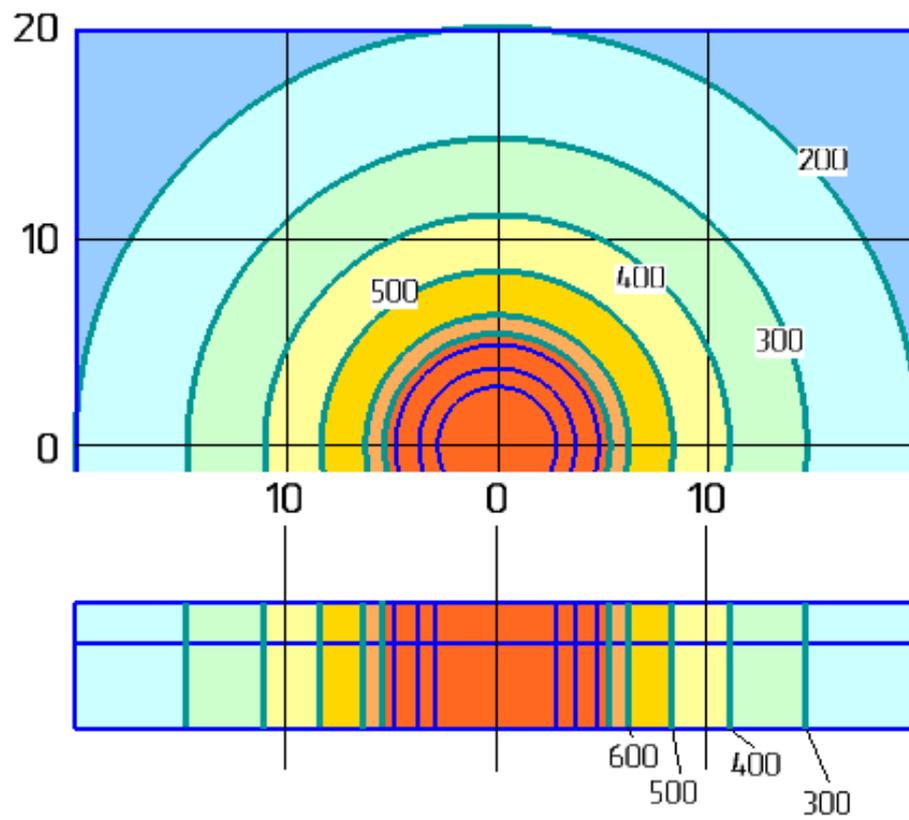


Рисунок 22 – Особенности температурного поля в листьях 1+2 мм

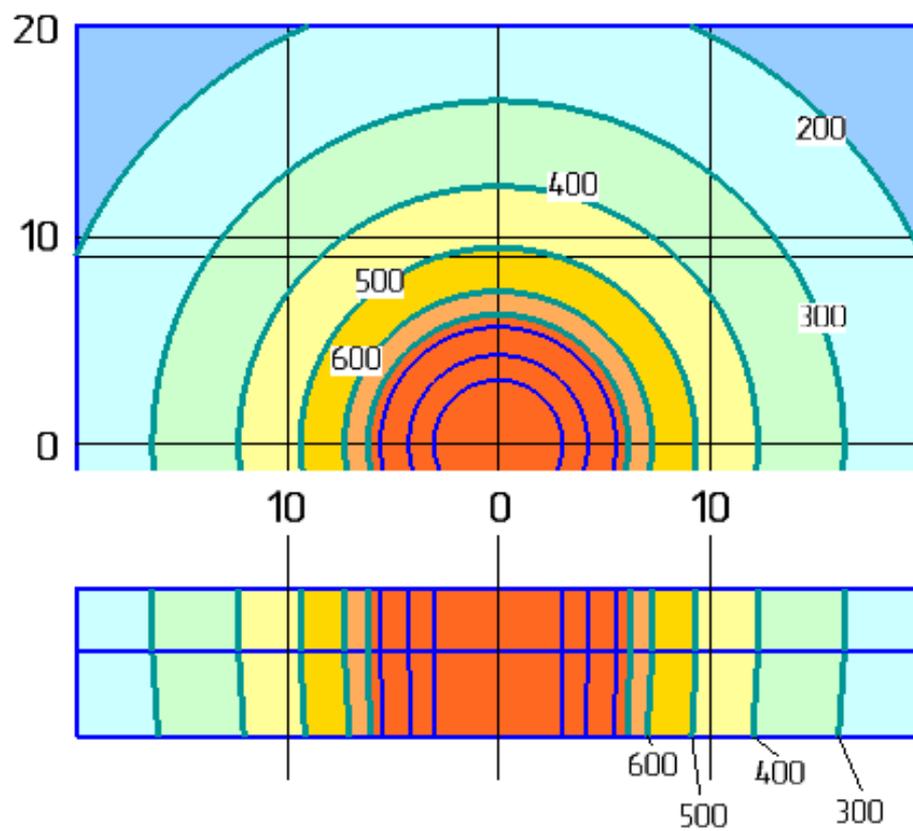


Рисунок 23 – Особенности температурного поля в листьях 1,5+2 мм

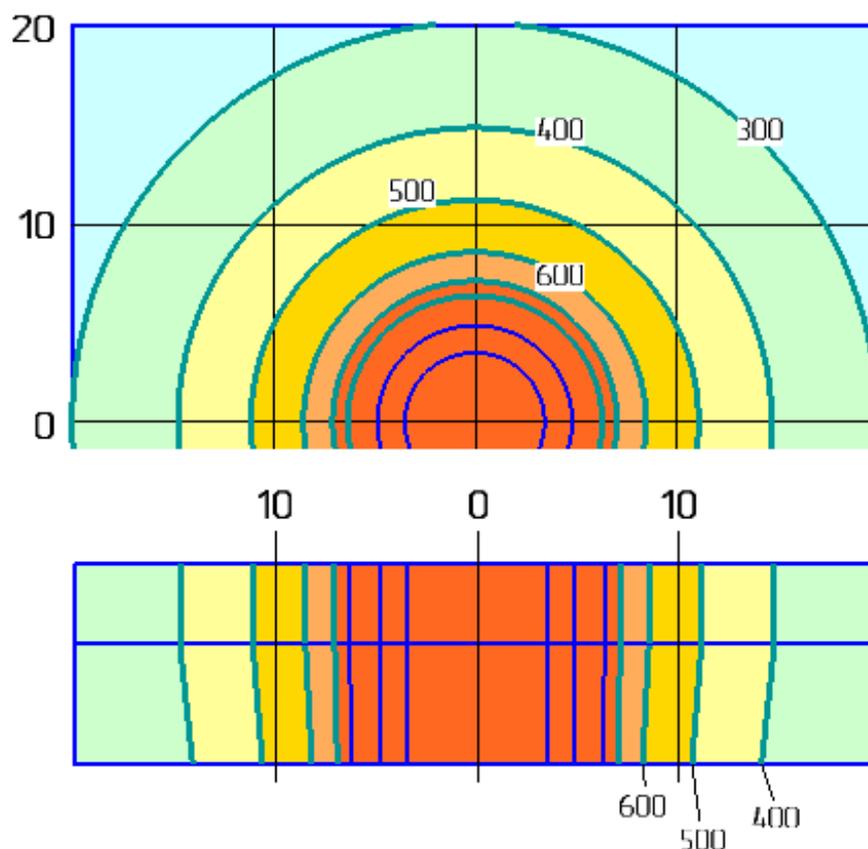


Рисунок 24 – Особенности температурного поля в листах 2+3 мм

Таким образом, предложенные параметры режима сварки обеспечивают получение заданной формы сварного соединения и могут быть использованы для построения технологического процесса.

2.7 Особенности выполнения операция проектной технологии сборки и сварки

«Подготовку поверхности металла под сварку выполняют двумя основными способами: механической и химической обработкой. В данном проекте применим химическую очистку. Химические способы подготовки особенно эффективны в крупносерийном и массовом производстве ответственных деталей, поскольку они позволяют получить чистые и малоактивные поверхности с низким значением контактных сопротивлений практически для всех металлов и сплавов. Химическая обработка поверхности

деталей проводится в соответствии с производственной инструкцией и технологической документацией, которые регламентируют последовательность операций, состав растворов, их температуру и продолжительность каждой операции, как показано в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры химической подготовки поверхности деталей перед сваркой

Порядок основных операций обработки и температура 1 л водного раствора	Обработка после основной операции
<p style="text-align: center;">Обезжиривание</p> Тринатрийфосфат, г 40...60 Кальцинированная сода, г 20...35 Едкий натр, г 30...50 Температура раствора, °С 60...80	<p style="text-align: center;">Промывка</p> В горячей воде (45...50 °С), затем в проточной холодной воде
<p style="text-align: center;">Травление</p> Серная кислота, г 125...250 Хлористый натрий, г 20...30 Присадка 4М, г 5...8 Температура раствора, °С 50...60	<p style="text-align: center;">Нейтрализация</p> В водном растворе едкого натра или калия (50...70 г) при температуре (20...25 °С)

Перед началом работы (в начале смены) наладчик сварочного оборудования должен» [21] проверить в источнике питания плазмотрона: состояние электрических проводов и контактов; соответствие напряжения сети напряжению, указанному на маркировке источника питания; подключение источника питания к источнику плазмообразующего газа.

Затем соединяют с источником питания плазмотрон, для этого подключают по порядку: подвод газа; вставку штепсельного разъема провода управления к колодке.

Источник питания подключен к сети переменного тока 3×380 В через автоматические выключатели.

Перед включением (в начале смены) необходимо предварительно продуть магистраль сжатого воздуха, проверить отсутствие в ней конденсата (путем обдува листа бумаги). При наличии конденсата возможно электрическое замыкание внутри плазмотрона и выход его из строя. Для подачи напряжения на все устройства установки установить ручку

автоматического выключателя на панели источника питания в положение "СЕТЬ". При этом на панели включается светодиод "СЕТЬ". Затем необходимо установить необходимый расход воздуха через плазматрон с помощью регулятора давления и манометра, установленных на панели источника питания, не менее 4 кг/см^2 . Проверить надежность поступления воздуха к плазматрону резаку.

На источнике питания по указателю с помощью резистора регулирования рабочего тока устанавливается требуемая сила тока.

«Заготовки со склада ПДБ (производственно-диспетчерское бюро) цеха транспортируются на производственный участок. Заготовки находятся в оборотной таре, откуда оператор предварительно перемещает их на участок сборки-сварки. На участке сварки заготовки укладываются в накопители у первого поста робототехнического комплекса в соответствии с маркировкой. При этом не допускается размещение деталей в накопителях «горкой»

После размещения заготовок у поста оператор забирает из накопителей по одной детали и укладывает их на ложементы сборочной оснастки. При этом точность сборки деталей (их укладки в сборочном приспособлении) диктуется ложементами сборочного приспособления. При этом можно задать следующие требования к сборке: величина зазоров между деталями должна быть не более 0,6 мм; зазоры должны иметь возможность выбирания при нажатии на детали с усилием до 100 Н; точность позиционирования деталей 0,5 мм; усилие прижима деталей 0,4...0,7 кН.

После сборки узел разворота оснастки разворачивается на 180 градусов, и детали помещаются в рабочую зону сварочного робота (IR-161)» [21].

Сварочный робот подает плазматрон в зону расположения первой точки. Параметры режима задаются в зависимости от толщины свариваемых деталей. Для толщины заготовок 1+2 мм $U_d=25...28 \text{ В}$, $I_d=160...180 \text{ А}$, $t_{св}=1 \text{ с}$. Для толщины заготовок 1,5+2 мм $U_d=26...30 \text{ В}$, $I_d=170...200 \text{ А}$, $t_{св}=1,2 \text{ с}$. Для толщины заготовок 2+3 мм $U_d=32...36 \text{ В}$, $I_d=190...220 \text{ А}$, $t_{св}=2 \text{ с}$. После сварки 1 точки робот отводит плазматрон, перемещает до контакта с местом сварки

следующей точки и по указанным параметрам производит сварку оставшихся точек.

«По окончании сварки узел разворота оснастки стол подает изделие в рабочую зону оператора, прижимы детали ослабляются. Вспомогательный робот вынимает сваренную деталь из ложементов и укладывает её в оборотную тару.

Контроль качества сварки производят на 1% изделий. Контролируемое изделие проверяется в специальном кондукторе на соответствие геометрии, после чего, производится контроль сварных точек с использованием ультразвукового дефектоскопа УД 2-12 теневым методом. Изделие не прошедшее контроль бракуется, партия, сваренная после предыдущего контроля проходит дополнительный контроль, и в случае несоответствия требованиям на изделие забраковывается, брак изолируется» [21].

Выводы по второму разделу

Второй раздел выпускной квалификационной работы содержит описание решения задач, постановка которых проведена в первом разделе. На основании литературного обзора выполнена экспертная оценка схем питания сжатой дуги при выполнении точечных сварных соединений деталей из алюминиевых сплавов. Для построения проектного технологического процесса предложено применить сварку на обратной полярности комбинированной дугой. Для осуществления способа предложена оригинальная конструкция плазматрона, позволяющая эффективно бороться с кратерами на поверхности сварной точки. Расширение технологических возможностей выбранного способа обеспечено применением разработок российских исследователей в области сварки сжатой дугой. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке. Далее следует провести экологическое и экономическое обоснование результатов выпускной квалификационной работы.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

При выполнении выпускной квалификационной работы предложена проектная технология точечной плазменной сварки листовых деталей из алюминиевых сплавов, для реализации которой на основании анализа источников научно-технической информации предложены технические и организационные средства, направленные на расширение технологических возможностей рассматриваемого способа сварки, однако для принятия решения о возможности внедрения результатов выпускной квалификационной работы в настоящем разделе требуется проведение экспертизы по возможности обеспечения требуемого уровня промышленной, пожарной и экологической безопасности. Предварительно предлагается рассмотреть вопросы промышленной безопасности, связанные с идентификацией негативных производственных факторов и составлением перечня средств по их нейтрализации. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки ремонтной сварки паропровода представлена в таблице 4. Проектный технологический процесс в упрощенном виде может быть представлен как набор из пяти операций, в ходе выполнения каждой операции возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволит судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, оператор робота, инженер-дефектоскопист.

Таблица 4 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки паропроводов

Операция	Персонал	Оборудование, материалы
«Подготовка деталей к сварке»	Слесарь-сборщик	- камера моечная - камера сушильная - моечный раствор
Загрузка деталей в кондуктор	Слесарь-сборщик	- узел разворота оснастки - сварочный кондуктор - обратная тара
Сварка	Оператор робота	- сварочный робот - сборочный кондуктор - сварочная горелка - источник питания - газовая аппаратура - компрессор - система охлаждения
Разгрузка	Оператор робота	- тара обратная - компрессор
Контроль качества» [21]	Инженер-дефектоскопист	- набор визуального и измерительного контроля - ультразвуковой дефектоскоп

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиваться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении проектного технологического процесса, который ранее был разделен на пять укрупненных операций, возникают негативные производственные факторы, которые следует сформулировать согласно ГОСТ 12.0.003-2015 по каждой рассматриваемой операции. Возникающие при

выполнении технологических операций опасные и вредные производственные факторы сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса сборки и сварки

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Подготовка деталей к сварке	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Загрузка деталей в кондуктор	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Сварка	<ul style="list-style-type: none"> - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Разгрузка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - повышенный уровень рентгеновского излучения

Выполнение сварочных операций предусматривают наличие сжатой дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования с опасным напряжением и током. Дополнительным источником опасности является наличие на участке промышле

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Представленный выше перечень опасных и вредных производственных факторов позволяет приступить к выбору средств и методик по обеспечению требуемого уровня безопасности персонала предприятия, занятого при

выполнении рассматриваемых операций проектного технологического процесса. Предлагаемые стандартные решения представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону» [4]	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

При планировании защитных мероприятий следует учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При планировании сварочных операций необходимо принимать во внимание, что сварка является опасным с точки зрения возникновения на производственном участке пожара процессом, это заставляет рассматривать дополнительные мероприятия по безопасности. Операции плазменной сварки сопровождаются интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что «питание дуги требует подвода

электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и развития пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 7 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [4].

Таблица 7 – Идентификация пожара на производственном участке

Наименование участка	Участок проведения плазменной точечной сварки с применением роботизированного технологического комплекса
Наименование оборудования	Камера помывочная, камера сушильная, узел разворота оснастки, сварочный кондуктор, обратная тара, сварочный робот, сборочный кондуктор, сварочная горелка, источник питания, газовая аппаратура, компрессор, система охлаждения
Классификация по виду горящего вещества	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасные факторы пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Вторичные опасные факторы пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [4]

Если на рассматриваемом производственном участке произошло возгорание, необходимо быть готовым к нейтрализации его опасных факторов, действие которых может стать причиной травм, жертв и экономического ущерба. К основным (первичным) факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. К вторичным факторам пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к

категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 8 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 8 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [4]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Запрещается складирование мусора, могущего стать потенциальным топливом (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Запрещается хранить на участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Обязателен инструктаж по вопросам пожарной безопасности.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

На рассматриваемом производственном участке реализуется процесс роботизированной плазменной точечной сварки листовых конструкций. Современные технологические процессы должны удовлетворять требованиям причинения минимального ущерба окружающей среде. При этом следует учитывать, что по мере повышения уровня самосознания цивилизации в

отношении сохранения природных ресурсов требования по обеспечению экологической безопасности будут продолжать ужесточаться, а финансовые затраты в этом направлении увеличиваться.

Рассматриваемый процесс для своей реализации требует применения высокотехнологичного оборудования, следовательно, может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы.

Для защиты атмосферы требуется дооснащение вентиляции рассматриваемого производственного участка системой фильтрации и утилизации собираемых компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается слив в канализацию и водоемы машинного масла и других жидких отходов, возникающих при функционировании производственного участка,. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по соблюдению экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы требуется организация на производственном участке селективного сбора, разделения и утилизации промышленного мусора. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Запрещается наземный слив масла и отработавших технологических жидкостей. Предлагаемые мероприятия призваны снизить антропогенное действие на природу со стороны рассматриваемого производственного участка и отвечают современным требованиям по обеспечению экологичности технологических процессов.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел посвящен рассмотрению вопросов промышленной, пожарной и экологической безопасности при реализации проектной технологии роботизированной сварки листовых конструкций с применением точечной сварки сжатой дугой. При составлении и анализе укрупненного технологического процесса выделены пять операций и для каждой операции сформулированы негативные производственные факторы, защиту от действия которых на персонал предприятия предлагается проводить с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий, оценка эффективности которых проведена и позволяет отказаться от проектирования специальных средств защиты. Пожарная безопасность на рассматриваемом участке проведения ремонтной сварки обеспечивается представленными в настоящем разделе стандартными средствами. Значительная роль отводится мероприятиям предупредительного характера, позволяющим за счёт повышения культуры производства значительно уменьшить опасность образования пожара и возникновения на рассматриваемом производственном участке несчастного случая. При анализе проектной технологии с точки зрения негативного действия на окружающую среду предложены мероприятия, обеспечивающие снижение антропогенного действия рассматриваемого производственного участка на составляющие природы – атмосферу, литосферу и гидросферу. В процессе функционирования сварочного участка необходимо проводить селективный сбор промышленных отходов и рециклинг. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее при выполнении разделов выпускной квалификационной работы составлена проектная технология роботизированной точечной плазменной сварки деталей кузова автомобиля, которая по сравнению с применением подвесных сварочных клещей повышенной мощности позволяет повысить производительность и качество. Кроме того, плазменная точечная сварка с применением роботов обладает большей по сравнению с контактной точечной сваркой универсальностью. Для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на определение экономических показателей предприятия. Поскольку проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого намного выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса, экономическая эффективность предлагаемых решений не очевидна и должна быть доказана. Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 8. Применение при реализации проектной технологии предлагаемых решений по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в две смены.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	485 тыс.	7000 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	30	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,9	0,9
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [8]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования F_H и «эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для расчетов принимается количество смен $K_{см}=2$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчетов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчетов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы» [8] оборудования позволяет учесть потери рабочего времени через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 4418 \cdot (1 - 0,07) = 4108 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчет показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3=4108$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [8] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,25 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,3$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,14 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,17$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 4108/0,3 = 13700$ сварных узлов в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 4108/0,17 = 24160$ сварных узлов в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства и то, что оно считается экспериментальным для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 12000$ сварных узлов в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [8]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 0,3 \cdot 12000 / (4108 \cdot 1,03) = 0,9$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить» [8] количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 0,17 \cdot 12000 / (4108 \cdot 1,03) = 0,5$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,9/1 = 0,9$ и $K_3 = 0,5/1 = 0,5$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [8]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 14$ рублей (затраты на сварочные электроды и воду). Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить величину затрат на материалы равную $M_{\text{баз.}} = 27$ рублей (затраты на защитный газ и воду).

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=200$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} . \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 0,3 \cdot 300 \cdot 1,88 = 169$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 0,17 \cdot 300 \cdot 1,88 = 96$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 169 \cdot 0,12 = 20$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 96 \cdot 0,12 = 12$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$\text{ФЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 169 + 20 = 189$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 96 + 12 = 108$ руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого» [8] производства из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 189 \cdot 0,34 = 64$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 108 \cdot 0,34 = 37$ руб.

Для того, чтобы рассчитать размер «затрат на оборудование $Z_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{об}$ и затраты на электрическую энергию $P_{ээ}$.

При расчете величины $A_{об}$ применяются ранее определенные значения F_3 и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации N_a и стоимость оборудования $C_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных» [8]. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 485000 \cdot 21,5 \cdot 0,3 / 4108 / 100 = 7,6$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 7000000 \cdot 21,5 \cdot 0,17 / 4108 / 100 = 62$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $C_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 30 \cdot 0,3 \cdot 3,4 / 0,7 = 44$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 40 \cdot 0,17 \cdot 3,4 / 0,85 = 27$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об.} = 7,6 + 44 = 52$ руб. «Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 62 + 27 = 89$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{сс}$, затрат на оборудование $Z_{об}$ и затрат на площади $Z_{пл}$ » [8]:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{сс} + Z_{об} + Z_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 14 + 189 + 64 + 52 + 104 = 423$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить значение технологической себестоимости в размере $C_{тех} = 27 + 108 + 37 + 89 + 57 = 318$ руб. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{цех} = 1,5$. Расчёт величины $C_{цех}$:

$$C_{цех} = C_{тех} + Z_{осн} \cdot K_{цех}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех} = 423 + 1,5 \cdot 169 = 423 + 254 = 677$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех} = 318 + 1,5 \cdot 96 = 318 + 144 = 462$ руб. Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение

которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$ [8]:

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 677 + 1,15 \cdot 169 = 677 + 195 = 872$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 462 + 1,15 \cdot 96 = 462 + 110 = 572$ руб.

Для анализа которых на рисунке 25 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру технологической себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 10. На рисунке 26 представлена структура заводской себестоимости.

Таблица 10– Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	14	27
2. Фонд заработной платы	ФЗП	189	108
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	64	37
4. Затраты на оборудование	Зоб	52	89
5. Затраты на площади	Зпл	104	57
6. Технологическая себестоимость	Стех	423	318
7. Цеховые расходы	Рцех	254	144
8. Цеховая себестоимость	Сцех	677	462
9. Заводские расходы	Рзав	195	110
10. Заводская себестоимость» [8]	$C_{зав}$	872	572

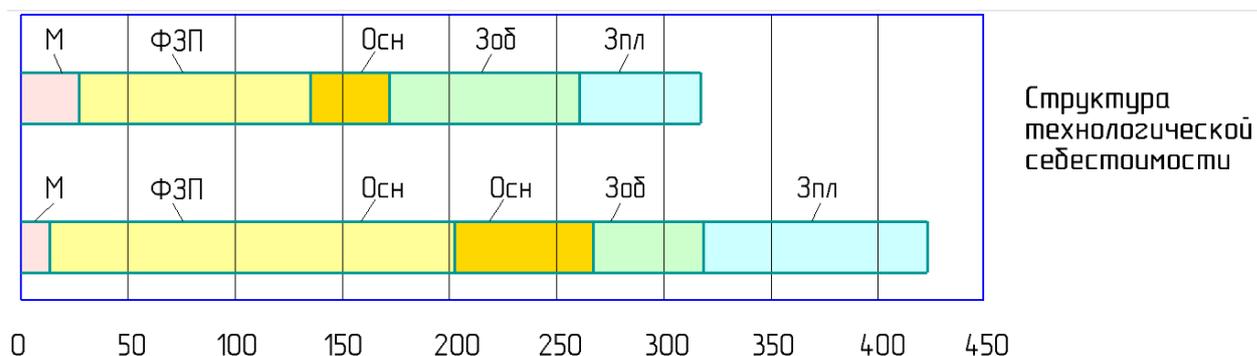


Рисунок 25 – Структура технологической себестоимости

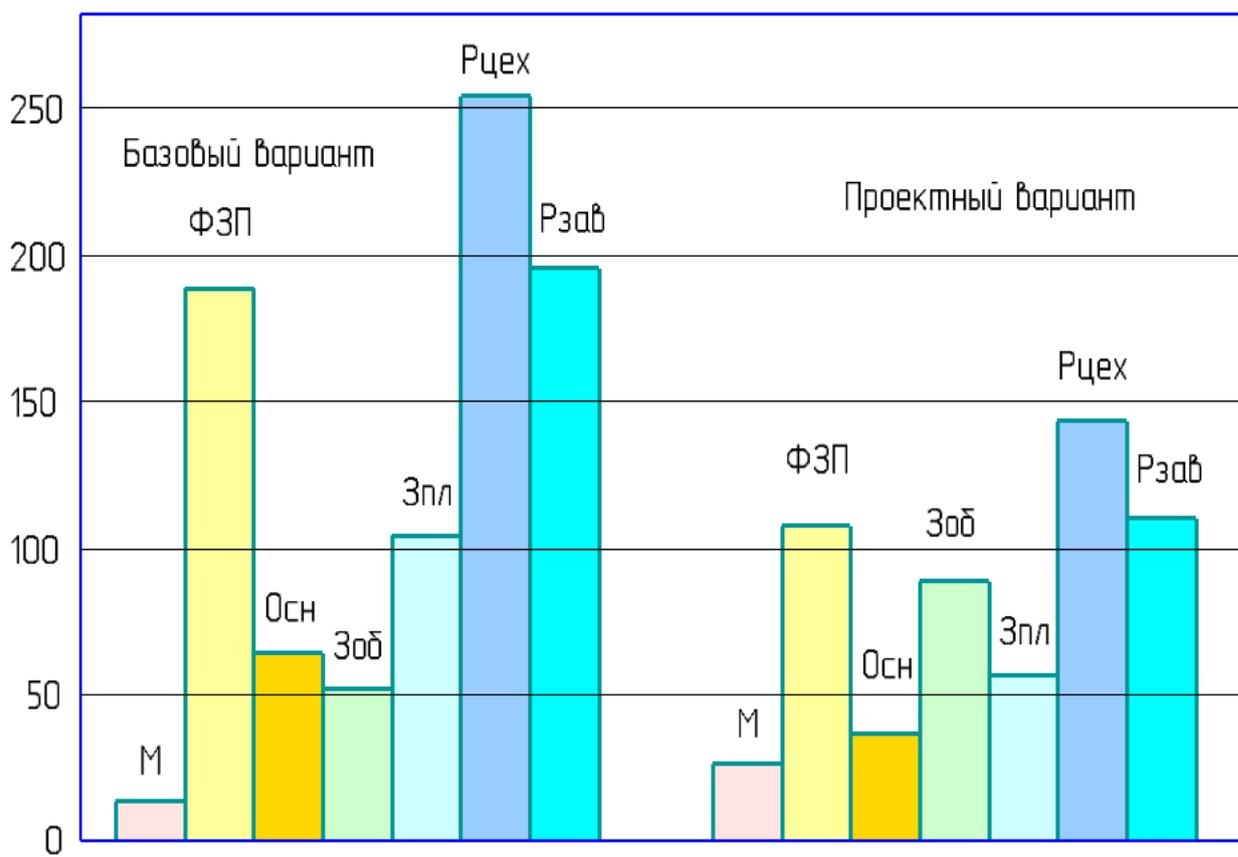


Рисунок 26 – Структура заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов.

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом.

Для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты, которые будут учтены при расчётном «определении экономической эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией. На основании анализа этих показателей может быть сделан вывод о целесообразности внедрения в современное производство предлагаемых решений, сопровождающихся значительными по сравнению с базовым вариантом технологии капитальными затратами» [8].

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=2$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.}= 485$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [8]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 485000 - (485000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 276450$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 1 \cdot 276450 \cdot 0,9 = 248805 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов K_{tz} и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,5$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=7000$ тыс. рублей, $K_{tz}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{zп} = 7000000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 3500000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=485$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 485000 \cdot 0,05 = 24250 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=7000$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 7000000 \cdot 0,05 = 350000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 24250 + 350000 = 374250 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 3500000 + 374250 = 3874250 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 3874250 - 248805 = 3625445 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [8] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 248805/12000 = 21$ рубль за один сварной узел. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 3625445/12000 = 302$ рублей за один сварной узел. На основании проведенных расчётов могут быть определены показатели эффективности предлагаемых решений.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (0,3 - 0,17) \cdot 100 \% / 0,3 = 43 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 43 / (100 - 43) = 75 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (423 - 318) \cdot 100\% / 423 = 25 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы Π_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (872 - 572) \cdot 12000 = 3600000 \text{ рублей}. \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 3625445 / 3600000 = 1 \text{ год}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта \mathcal{E}_T с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H=0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 3600000 - 0,33 \cdot 3625445 = 2403603 \text{ рублей}. \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии роботизированной сварки узлов кузова автомобиля с применением предлагаемых технологических решений. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса в базовом варианте и проектном варианте определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии. Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 43 %, повысить производительность процесса на 75 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 25 %. При капитальных вложениях 3,625 млн. рублей срок окупаемости составляет 1 год, а экономический эффект составляет 2,4 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

Для построения проектной технологии обоснован выбор точечной плазменной сварки, применение которой позволяет повысить энергетическую эффективность оборудования и улучшить эксплуатационные свойства конструкции по сравнению с контактной точечной сваркой и дуговыми способами сварки. Выполнена экспертная оценка схем питания сжатой дуги при выполнении точечных сварных соединений деталей из алюминиевых сплавов. Для построения проектного технологического процесса предложено применить сварку на обратной полярности комбинированной дугой. Для осуществления способа предложена оригинальная конструкция плазматрона, позволяющая эффективно бороться с кратерами на поверхности сварной точки. Расширение технологических возможностей выбранного способа обеспечено применением разработок российских исследователей в области сварки сжатой дугой. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 43 %, повысить производительность процесса на 75 %. Срок окупаемости капитальных вложений составляет 1 год, а экономический эффект составляет 2,4 млн. рублей. На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений, а поставленную цель достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1581509 СССР. В.П. Сидоров, В.П. Куркин, В.И. Столбов Способ дуговой сварки электрозаклёпками. 1990.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Гаврилов В. Г., Помазков М. В., Караваева Н. Е. Анализ возможности применения различных материалов для изготовления деталей кузовов в практике автомобилестроения // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2015. № 31. С. 42-50.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. Каримхаджаев Н., Эркинов И. Б, Вахобов Р. А. Обзорный анализ сварочной технологии в производстве автомобилей // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2020. № 10. С. 56-60.
6. Коваливнич В. Д., Аносова А. И., Голубев Д. Н. Обзор и анализ материалов кузовов автомобилей // Научный журнал молодых ученых. 2024. № 4. С. 24-28.
7. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335 с.
8. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
9. Мещеряков В. М., Косенко Е. Е., Косенко В. В. Обзор способов сварки элементов кузовов автомобилей // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. С. 21-33.
10. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

11. Патент № 2479394 РФ. МКИ В23К10/02 Горелка для точечной плазменной сварки / К.В. Моторин, В.П. Сидоров, Г.М. Короткова; Бюл. № 11. 2013.

12. Патент 2495735 РФ МПК В23К 10/02 Способ плазменной сварки плавящимся электродом / Ю. Д. Шицын, В. Ю. Шицын. Заявл. 06.10.2011. Опубл. 20.04.2013, Бюл. № 29. 7 с.

13. Рыжков. Г. Л., Хазов. Б. Ф, Отказы и предельное состояние технологического оборудования сварки кузовов в массовом производстве автомобилей. // Сварка в машиностроении и приборостроении 2007. № 10. С. 14-24.

14. Рыкалин Н. Н. Расчёты тепловых процессов при сварке // М.: Машиностроение, 1951. 296 с.

15. Савин И. В. Конструкция кузова: какие материалы в каких частях кузова необходимо применять и почему // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 4. С. 330-334.

16. Сидоров В. П., Короткова Г. М., Забияка И. С. Влияние способов подачи плазмообразующего газа на пятно нагрева при сварке сжатой дугой // Вестник науки ТГУ. № 3. 2012. С. 97-101.

17. Сидоров В.П., Короткова Г. М., Моторин К. В. исследование способов уменьшения кратера при точечном соединении алюминиевых сплавов сжатой дугой // Сварка и диагностика. 2012. № 3. С. 34-37

18. Сидоров В. П., Советкин Д. Э. Влияние баланса полярностей на эффективную мощность при точечной плазменной сварке алюминиевых сплавов // Вестник РГУПС. 2019. № 4. С. 26-33.

19. Стрельников И. В., Коновалов А. В. Стемпфер Ф. Вопросы качества плазменной точечной сварки: металлография, фрактография, статистика // Сварка и диагностика. 2010. № 5. С. 47-50.

20. Фролов В.А. Пилипенко Б.Г., Путятин Л.М., Арсеньева Н.В. Значение мониторинга сварочного производства для стратегического развития

предприятий машиностроения // Сварочное производство. 2018. № 11. С. 52–59.

21. Фридляндер И.Н., Сандлер В.Г., Грушко О.Е. Алюминиевые сплавы - перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 9. С. 3-9.

22. Фролов В. В., Волченко В. Н., Ямпольский В. М. Теория сварочных процессов // М.: Высш. шк. 1988. 559 с.

23. Худякова О.Ю. Математическая модель распространения тепла при точечной плазменной сварке алюминиевых пластин на соискание учёной степени кандидата технических наук. 1999

24. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИНУ. 2015. № 2. С. 5-12.

25. Щицын Ю. Д., Гилев И. А., Беленин Д. С. Плазменная сварка алюминиевых сплавов при работе двухдугового плазматрона на токе обратной полярности // Вестник ПНИПУ. 2015. № 3. С. 61-70.

26. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А., Щицын В.Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка и диагностика. 2009. № 2. С. 42–45.