

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 точечной плазменной сварки при ремонте кузова
автомобиля

Обучающийся

В.В. Гусаров

(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 2024

Аннотация

Автомобильное хозяйство становится основным потребителем инноваций в сварочных технологиях, так как обладает самыми значительными ресурсами для внедрения прорывных решений: продукция автомобилестроения всегда востребована, позволяет устанавливать высокую цену и характеризуется массовостью. Кроме того, в автомобилестроении сконцентрированы наиболее квалифицированные инженерные кадры, что упрощает процесс внедрения новых технологий в производственный процесс. Восстановление целостности кузова автомобиля позволяет избежать приобретения нового автомобиля. Это становится особенно важным в настоящие времена, когда существуют логистические проблемы по доставке новых автомобилей из-за рубежа, а сама стоимость автомобилей постоянно повышается. Таким образом, кроме экономического эффекта настоящая выпускная квалификационная работа позволяет получить социальный эффект, выражаемый в улучшении условий жизни значительного количества россиян.

В работе предложены технические решения по внедрению точечной плазменной сварки на ремонтных предприятиях Российской Федерации, позволяющие повысить эффективность восстановления кузовов автомобилей.

Оценочные разделы позволили доказать возможность и эффективность внедрения предлагаемых решений. Рассмотрены вопросы защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми мероприятиями. Представлено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Дополнительные капитальные вложения составляют 0,514 млн. рублей при экономическом эффекте 1,745 млн. рублей.

Предлагаемые решения должны быть внедрены на ремонтных предприятиях, восстанавливающих кузова автомобилей, вагонов и техники.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтного производства при восстановлении кузовных деталей автомобиля.	7
1.1 Описание типовых дефектов кузова автомобиля.	7
1.2 Свойства материала для изготовления деталей кузова автомобиля.	11
1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки.	13
1.4 Обоснование выбора способа сварки.	15
1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	20
2 Проектная технология ремонта кузовных деталей автомобиля с применением точечной плазменной сварки.	21
2.1 Сущность плазменной точечной сварки.	21
2.2 Обоснование выбора схемы питания сжатой дуги.	23
2.3 Конструкция плазматрона.	27
2.4 Способ сварки	29
2.5 Технология ремонтной сварки кузовных деталей.	36
3 Трудовая и экологическая безопасность производственного участка. .	41
3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений	41
3.2 Профессиональные риски.	42
3.3 Устранение профессиональных рисков.	44
3.4 Пожарная безопасность предприятия	45
3.5 Экологическая безопасность производственного участка.	47
4 Экономическая эффективность предлагаемых решений.	49
4.1 Вводные данные для экономического анализа.	49
4.2 Фонд времени работы оборудования.	51
4.3 Штучное время и годовая программа.	52

4.4 Расчёт заводской себестоимости.	54
4.5 Капитальные затраты.	61
4.6 Экономические показатели эффективности.	64
Заключение	68
Список используемой литературы и используемых источников.	70

Введение

Сварочные процессы являются основными как при изготовлении кузова автомобиля, так и при проведении ремонтных работ, от качества выполнения которых зависит дальнейшая эксплуатация. Следует отметить возрастающую роль именно восстановительных работ в поддержании функциональности автомобильного парка. Если при изготовлении кузова автомобиля наряду со сваркой решающее значение имеет штамповка, то при ремонтных работах значение сварочных технологий выходит на первый план [7].

Автомобильное хозяйство становится основным потребителем инноваций в сварочных технологиях, так как обладает самыми значительными ресурсами для внедрения прорывных решений: продукция автомобилестроения всегда востребована, позволяет устанавливать высокую цену и характеризуется массовостью. Кроме того, в автомобилестроении сконцентрированы наиболее квалифицированные инженерные кадры, что упрощает процесс внедрения новых технологий в производственный процесс.

Применение для изготовления деталей автомобиля новых материалов и сплавов заставляет внедрять в производство новые способы сварки, заменяя традиционно применяющуюся контактную точечную сварку на более перспективные. При этом в мировой автомобильной промышленности рассматривается вопрос массового внедрения лазерной и плазменной точечной сварки, которые, как и контактная точечная сварка обладают простотой автоматизации и могут быть применены для сварки конструкций из перспективных сталей и сплавов [19], [27]. В связи с этим должны изменяться и ремонтные технологии, так как изготовленные из новых сталей и сплавов кузова автомобилей рано или поздно требуют проведения ремонта с применением сварочных технологий [18], [21], [25].

При построении технологии сварки следует учитывать мировую повестку, которая диктует повышение экологической ответственности предприятий и снижение металлоемкости продукции [15], [16], [17].

Анонсированный Президентом Российской Федерации экономический, промышленный и научный прорыв требует привлечения значительных средств для генерирования новых технологических решений, что в настоящих условиях финансового и кадрового голода может в значительной степени обескровить действующее производство [14]. Таким образом, становится очевидным, что дальнейшее развитие технологий перед тем, как затрачивать средства на разработку новых решений, необходимо прибегнуть к внедрению ранее накопленного массива решений, что должно основываться на детальном анализе достижений современной сварочной науки, при этом основной упор следует делать на отечественные разработки [32].

Еще одним возмущающим фактором, нарушающим установившуюся работу при производстве и обслуживании автомобилей, является выход на Российский рынок Азиатского производителя, продукция которого может оказаться дешевле и качественнее, чем продукция отечественного производителя, что сильно затруднит приток средств в развитие предприятий Российской Федерации [24]. Кроме того, как показала практика ремонта китайских автомобилей, при их кузовном ремонте применение контактной сварки затруднено по причине недостаточной прочности сварных точек, получаемых с использованием классического оборудования для контактной точечной сварки на переменном токе промышленной частоты. Необходимость значительных затрат средств на модернизацию оборудования в этом случае позволяет рассмотреть переход на сварку с использованием других, более универсальных и производительных в условиях ремонта способов сварки.

Таким образом, очевидна актуальность выбранного направления исследования и поставленной цели – повышение эффективности ремонтной сварки кузовных деталей автомобиля с применением плазменной точечной сварки. Достижение поставленной цели позволит повысить экономический показатели и конкурентоспособность отечественного производителя и соответствует выбранному геостратегическому вектору [2], [13], [20].

1 Современное состояние ремонтного производства при восстановлении кузовных деталей автомобиля

1.1 Описание типовых дефектов кузова автомобиля

При ремонте кузова автомобиля предварительно выполняют операцию мойки, в ходе которой очищают кузов автомобиля от загрязнений. После мойки выполняют просушку. Следует принимать во внимание, что при выполнении ремонтных работ приходится считаться со значительным разнообразием в габаритах и толщинах свариваемых элементов. Так, для проведения ремонта могут поступать как целый кузов автомобиля, так и какой-нибудь его узел. Выполнение ремонтных работ следует проводить в присутствии заказчика или в непосредственной связи с ним, так как необходимо согласовывать выполняемые работы и их стоимость. Ремонт кузовных деталей автомобиля может выполняться только на сертифицированных предприятиях, организация работ в которых позволяет обеспечить выполнение действующих требований и нормативов. После помывки и просушки выполняют оценку состояния кузова автомобиля, что позволяет оценить предполагаемый объем работ и их стоимость. С заказчиком следует согласовать вид ремонта и примерную его стоимость, составить необходимый акт о приемке.

В зависимости от проводимого ремонта следует частично или полностью разобрать корпус автомобиля. В значительном количестве случаев, например, после небольшой аварии или при исправлении коррозионного повреждения, достаточно выполнить частичную разборку корпуса. Полная разборка корпуса выполняется, если необходимо провести объемные работы по восстановлению геометрии кузова и замене значительного количества его частей.

Основной частью процесса ремонта кузова автомобиля является его дефектация, которая позволяет обнаруживать видимые и скрытые дефекты

кузова автомобиля и грамотно подойти к его ремонту. Дефектация проходит на посту, оснащённом подъемником и контрольно-измерительным оборудованием. Если кузов автомобиля имеет повреждения лонжеронов или основания, следует выполнить замер положения контрольных точек кузова. Такая операция представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Замер положений контрольных точек кузова

По результатам дефектовки принимается решение о виде ремонтных работ, которые будут применены к кузову при его исправлении. Первым вариантом является проведение рихтовки или вытяжки кузова в холодном состоянии или с использованием нагрева элементов кузова. Вторым вариантом является изъятие их конструкции кузова поврежденного элемента и установка на него ремонтной вставки, погоняемой по месту. Третьим вариантом является установка на ремонтируемый кузов деталей, снятых с выбракованного кузова другого автомобиля аналогичной конструкции или с использованием новой кузовной детали, поставляемой изготовителем. Все три варианта предусматривают применение сварки, как механизированной в защитном газе проволокой сплошного сечения, так и контактной точечной сварки [6]. После того, как ремонтные работы проведены, выполняется контроль качества сварных соединений.

На рисунке 2 представлены примеры дефектов кузова автомобиля.



Рисунок 2 – Примеры повреждений кузова автомобиля

На первой фотографии представлено повреждение, требующее локального исправления геометрии части кузова без снятия детали. Такая работа может выполняться как со сваркой, так и без сварки в зависимости от характера повреждения и разрушения детали. При этом может потребоваться как выполнение контактной точечной сварки, так и подварка дуговыми методами. На второй фотографии представлено повреждение кузова, требующее исправления его геометрии на вытяжном стенде. При этом будет выполнен демонтаж части деталей кузова, в зависимости от состояния которых принимается решение о возможности ремонта или необходимости замены. В обоих случаях потребуются применение сварки для установки ремонтной детали на месте и заварке повреждений. На третьей фотографии представлено коррозионное разрушение деталей кузова, исправление которого потребует установки новой детали или ремонтной вставки, при этом, в обоих случаях, в ремонте будет применена сварка. На рисунке 3 представлен пример ремонта коррозионного поражения деталей кузова с установкой ремонтной вставки.



Рисунок 3 – Пример кузовного ремонта с применением сварки

Таким образом, для выполнения ремонта кузова автомобиля привлекается сварочное оборудование. При этом, ведущая роль отводится механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения, пример которой представлен на рисунке 4. На рисунке 5 представлен пример выполнения дуговой сварки вместо контактной точечной сварки.



Рисунок 4 – Пример механизированной сварки в защитных газах при ремонте кузовов автомобилей



Рисунок 5 – Применение дуговой сварки для выполнения точек

Применение оборудования для контактной сварки в условиях СТО затруднено по ряду причин. Первой причиной является необходимость подвода силовых сетей, рассчитанных на кратковременное потребление большой мощности, что требуется для проведения контактной точечной сварки. Второй причиной является необходимость одновременного подвода к одной точке технической воды, сжатого воздуха и электрической энергии, что затрудняет построение коммуникаций. Третьей причиной является низкая универсальность оборудования для контактной точечной сварки, что заставляет приобретать дорогостоящее оборудование, которое может простаивать.

1.2 Свойства материала для изготовления деталей кузова автомобиля

При изготовлении кузовных элементов автомобиля применяются низкоуглеродистые стали и стали повышенной прочности. На рисунке 6 представлена схема применения сталей при изготовлении универсального кузова автомобиля с применением низкоуглеродистых (мягких), высокопрочных и ультравысокопрочных сталей, совместное применение которых позволяет не только уменьшить массу автомобиля, но и повысить безопасность пассажиров и водителя при возникновении внештатных ситуаций [8], [26].



Рисунок 6 – Применение различных сталей при изготовлении автомобиля

Значительное распространение получили стали повышенной прочности. Рассматриваемая деталь изготовлена из стали DP 300/500, что может быть расшифровано как двухфазная сталь повышенной прочности, имеющая минимальный предел текучести 300 МПа и минимальное временное сопротивление 500 МПа. По сравнению с низколегированной сталью такая сталь имеет повышенное значение коэффициента деформационного упрочнения и относительное удлинение. На рисунке 7 представлена диаграмма свойств применяемых сталей, которая позволяет дать представление о преимуществах применения сталей повышенной прочности.

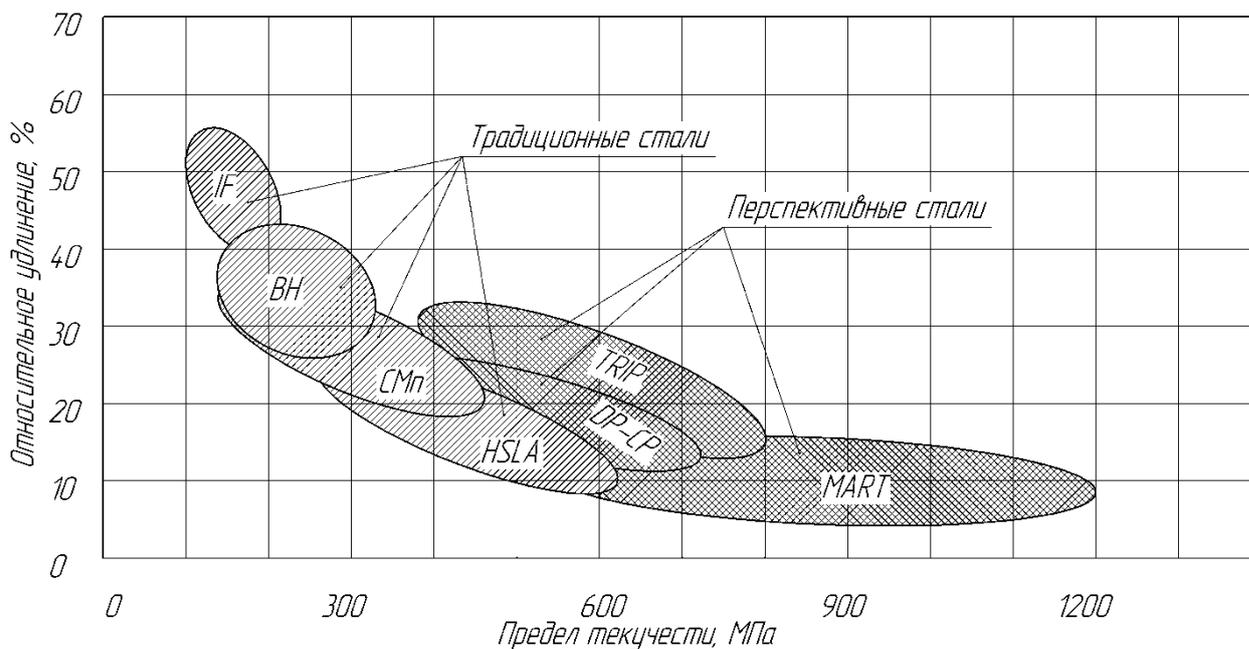


Рисунок 7 – Параметры прочности и пластичности сталей высокой прочности по сравнению с традиционными сталями

По сравнению с традиционными сталями стали повышенной прочности имеют мягкую ферритную структуру в сочетании с твердой (чаще всего мартенситной) структурой. За счёт непрерывности ферритной структуры обеспечивается ковкость таких сталей. При этом деформации накапливаются в основном в менее прочной ферритной фазе, что позволяет обеспечить высокий коэффициент деформационного упрочнения. Такие стали позволяют сочетать высокий предел прочности на разрыв и относительное удлинение, что выгодно отличает их от традиционных сталей, в которых повышение прочности напрямую связано со снижением пластических свойств. Также при термической обработке сталей повышенной прочности происходит их упрочнение, за счёт чего удастся получить предел прочности до 1000 МПа.

Такие свойства сталь приобретает за счёт экономного легирования марганцем, хромом, ванадием, никелем и молибденом. Также в таких сталях сказывается положительное влияние на прочностные свойства таких элементов, как углерод, кремний и фосфор. Структура и состав таких сталей усложняют сварочные технологии, заставляя оптимизировать режимы сварки и внедрять новые алгоритмы управления сварочными процессами [3].

1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки

При выполнении ремонтной сварки предусматривается применение двух способов сварки. Первым способом является механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, вторым способом является контактная очечная сварка. Для выполнения дуговой сварки применяется представленный на рисунке 8-а сварочный полуавтомат ПДГ-525 с источником питания ВДУ-505. Для контактной точечной сварки применяются подвесные клещи S-5861, которые представлены на рисунке 8-б. Требования к сварным соединениям представлены на рисунке 9.



Рисунок 8 – Оборудование для дуговой (а) и контактной точечной (б) сварки

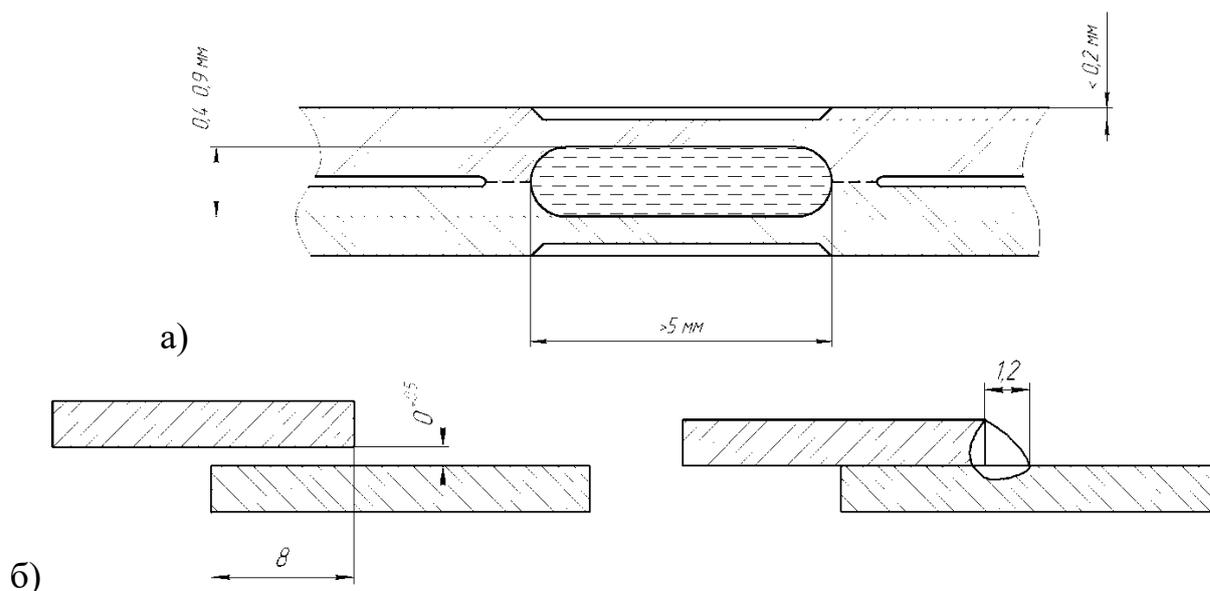


Рисунок 9 – Требуемые геометрические размеры сварной точки (а) и сварного шва (б)

Для закрепления детали при приварке на неё ремонтной заплатки применяется универсальный сборочно-сварочный стол, представленный на рисунке 10.

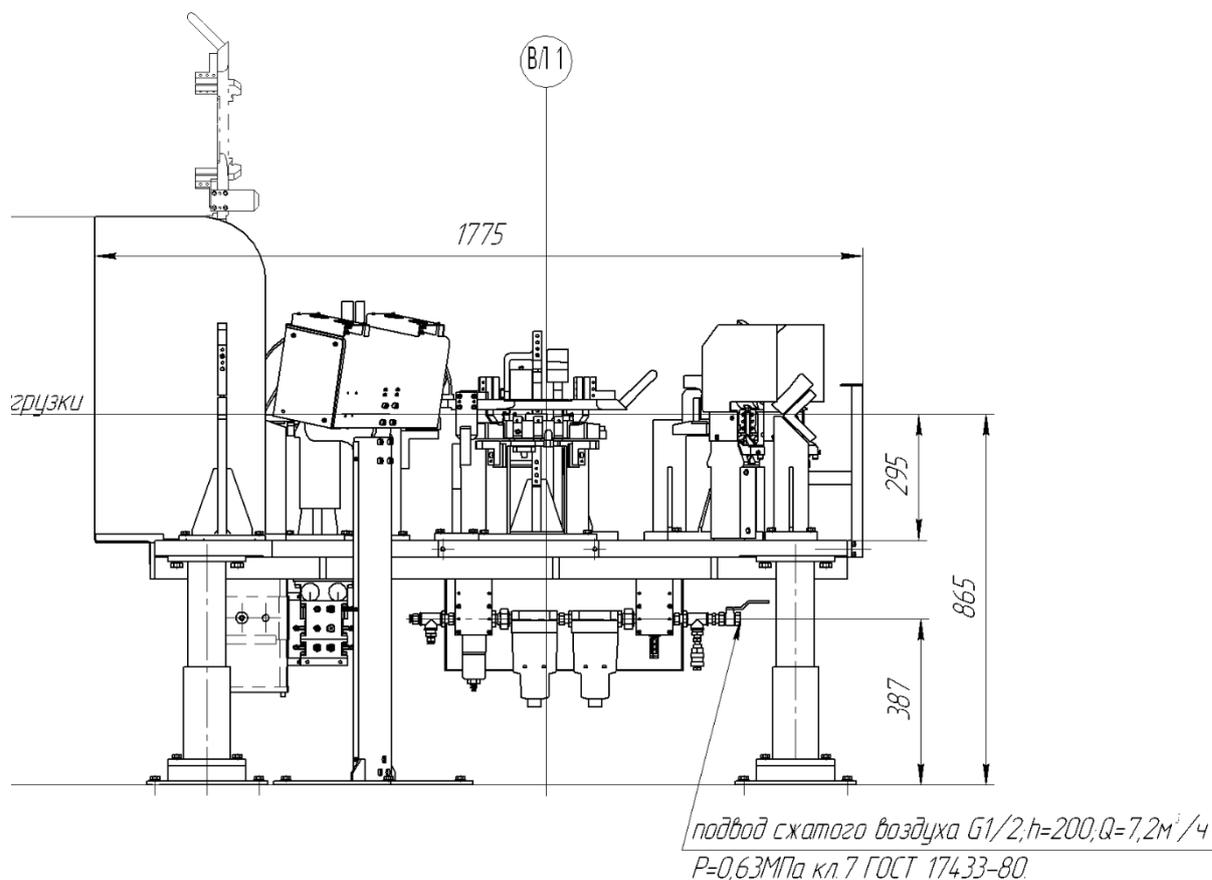


Рисунок 10 – Универсальный сборочно-сварочный стол

При выполнении дуговой сварки катет шва составляет 1,2 мм, применяется сварочная проволока Св-08Г1С диаметром 0,8 мм. Ток сварки устанавливают 80...120 А при напряжении дуги 18...22 В. Расход газа поддерживается 6...8 литров в минуту, в качестве защитного газа предлагается применить чистый углекислый газ. При сварке вылет проволоки поддерживается 8...12 мм.

При выполнении контактной точечной сварки применяются сварочные электроды с диаметром рабочей поверхности 5...6 мм. Сила сварочного тока составляет 9...10 кА при усилии сжатия электродов 3...4 кН. Длительность импульса сварочного тока устанавливается из диапазона 0,14...0,16 с, что составляет 7...8 периодов сетевого напряжения.

1.4 Обоснование выбора способа сварки

При выполнении сварных соединений с получением точек может быть применено несколько способов, выбор из которых для построения проектной технологии ремонтной сварки кузова автомобиля должен быть основан на анализе преимуществ и недостатков каждого способа [10].

Первым способом, применение которого интенсивно рассматривается в автомобилестроении, является лазерная сварка [4]. Схема выполнения лазерной сварки представлена на рисунке 11. При лазерной сварке в качестве защитного газа используется в основном аргон. Помимо защитного газа в зону сварки приходится подводить плазмоподавляющий газ, который необходим для рассеивания паров металла, которые поднимаются с поверхности сварочной ванны и заставляют рассеиваться лазерный луч, нарушая процесс сварки. В качестве такого плазмоподавляющего газа применяют дорогостоящий гелий. Усложнение конструкции горелки и повышенный расход газа являются недостатками лазерной сварки. Преимуществами лазерной сварки являются высокая точность дозирования энергии при формировании сварного соединения, что позволяет с высокой точностью управлять геометрией и свойствами сварного соединения.

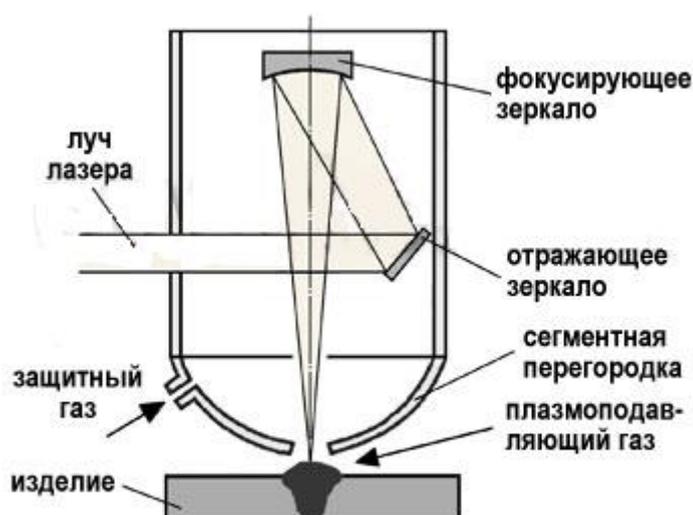


Рисунок 11 – Схема выполнения лазерной сварки

Также при лазерной сварке упрощается подвод горелки к труднодоступным местам и появляется возможность соединения разноименных сталей и сплавов. Главным недостатком применения лазерных технологий является высокая стоимость оборудования и его сложность в эксплуатации.

Следующим способом сварки, который наиболее распространен в массовом производстве, является контактная точечная сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 12. Сварка деталей проходит по отдельным участкам в виде сварных точек, расположение и площадь которых определяется рабочей поверхностью сварочных электродов. Контактная точечная сварка получила широкое распространение благодаря простоте автоматизации и высокой производительности.

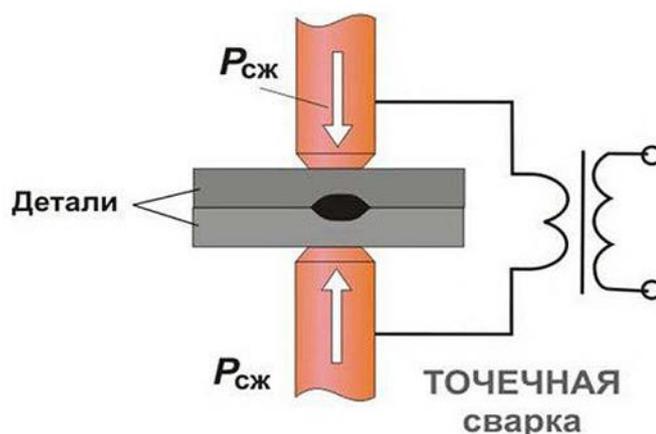
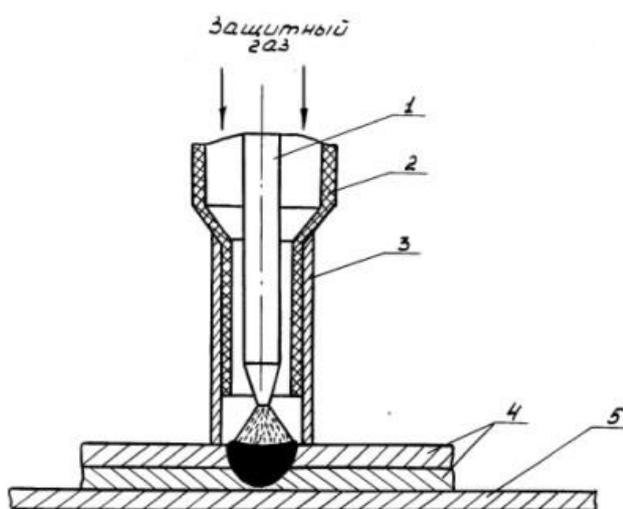


Рисунок 12 – Схема контактной точечной сварки

Получение соединений с применением этого способа сварки возможно как в массовом производстве на автоматических линиях, так и в единичном производстве с применением универсальных подвесных и стационарных машин. Главным недостатком контактной точечной сварки является низкая универсальность сварочного оборудования, для простановки сварных точек на различных местах кузова автомобиля требуется применение нескольких типов сварочных клещей, которые в значительном количестве времени в условиях ремонтной мастерской будут простаивать. Кроме того, для выполнения

контактной точечной сварки требуется подведение электрических сетей высокой мощности, которые также будут простаивать, если не будет необходимости в выполнении контактной сварки на ремонтном предприятии.

Еще одним способом сварки, который с успехом может быть применен при ремонте кузовов автомобилей, является дуговая точечная сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 13. Данный способ может быть применен как для плавящегося, так и для неплавящегося электрода. Преимуществами способа является высокая универсальность и возможность сварки при одностороннем подходе. Если сварку ведут с применением плавящегося электрода, питание дуги осуществляют постоянным током обратной полярности, в качестве защитного газа применяют в основном аргон или смесь аргона с гелием, что улучшает внешний вид соединения и формирование сварной точки, особенно при сварке деталей больших толщин. При использовании неплавящегося электрода дугу питают переменным током промышленной частоты или разнополярными импульсами тока. Недостатками способа является низкое качество соединений и их внешнего вида, который невыгодно отличается от контактной точечной сварки. Именно по виду точек можно отличить автомобиль после проведения кузовного ремонта.



- 1 – неплавящийся электрод; 2 – керамическое сопло; 3 – опорное сопло;
4 – свариваемые элементы; 5 – подкладка

Рисунок 13 – Схема сварки электрозаклёпками открытой дугой

Плазменная точечная сварка, схема которой представлена на рисунке 14, позволяет с высоким качеством соединять листовые детали из различных материалов, этот способ обладает самыми лучшими экономическими показателями из рассматриваемых в условиях ремонтного производства. По сравнению с дуговой сваркой при ремонте кузовов автомобиля плазменная сварка обладает следующими преимуществами. Во-первых, изменение расстояния между горелкой и изделием не так сильно влияет на стабильность процесса сварки, что особенно важно при выполнении ремонтной сварки в труднодоступных условиях. Во-вторых, стабильность процесса в условиях колебания сетевого напряжения и тока также существенно выше, что позволяет организовать ремонтный участок даже в условиях устаревших силовых сетей. В-третьих, качество соединения при плазменной сварке существенно выше, чем при дуговой сварке. В-четвертых, при плазменной сварке вложение тепла в деталь намного меньше, чем при дуговой сварке, поэтому коробление также снижается. В-пятых, плазменные процессы перед дуговыми выигрывают в производительности. Таким образом, сварное соединение при плазменной сварке формируется с меньшими временными и энергетическими затратами и с более высоким качеством. На рисунке 15 представлен универсальный стенд для плазменной сварки, позволяющий выполнять как шовную, так и точечную сварку при ремонтных работах.

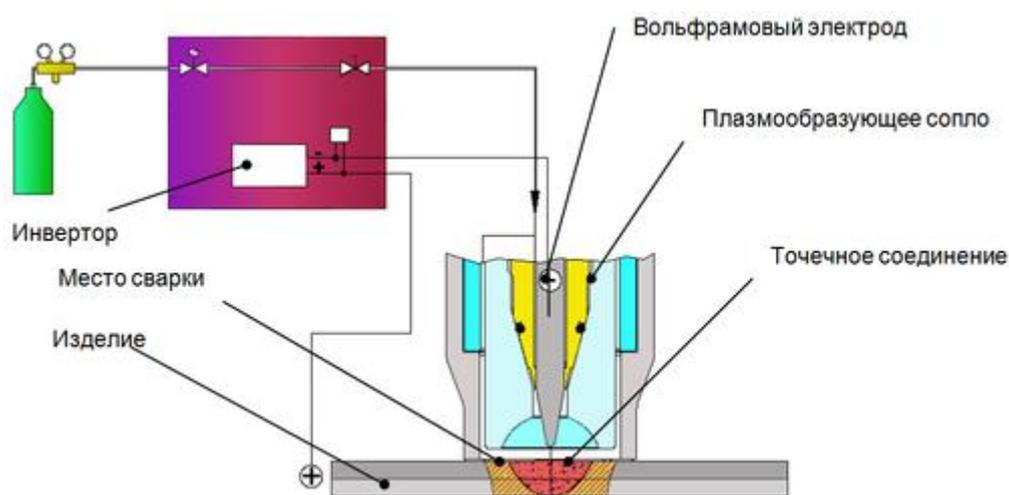
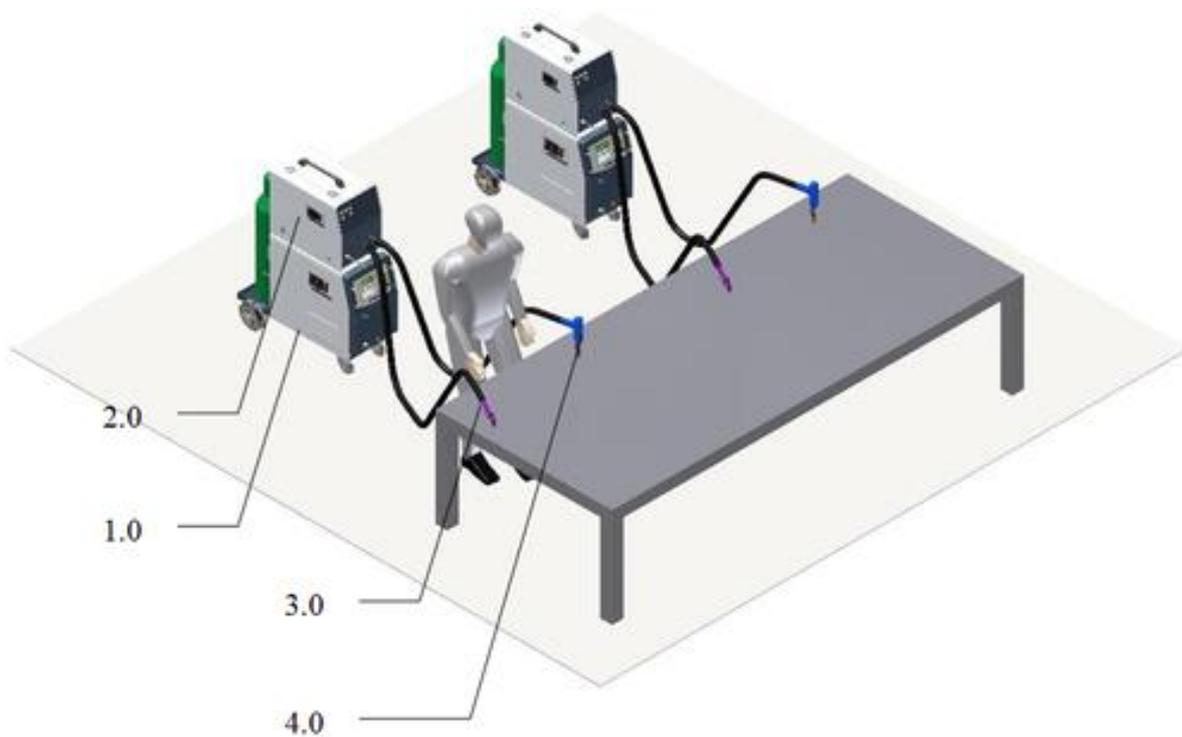


Рисунок 14 – Схема выполнения точечной плазменной сварки



1 – сварочные агрегаты, 2 – механизм подачи присадочной проволоки, 3 – ручная плазменная горелка для сварки с подачей проволоки, 4 – ручная плазменная горелка для точечной сварки

Рисунок 15 – Схема комбинированного поста для плазменной сварки в условиях ремонтного участка

Таким образом, на основании обзора альтернативных способов сварки и анализа их преимуществ и недостатков для построения проектной технологии ремонтной сварки предлагается применить плазменную сварку. Как показала практика применения плазменной сварки на ремонтных предприятиях, производительность плазменной сварки превосходит производительность дуговых способов, приближаясь к контактной точечной сварке. Самая высокая производительность у лазерной сварки, но в условиях ремонтного предприятия это не может считаться преимуществом лазерной сварки. Трудоемкость выполнения работ при плазменных способах сварки существенно ниже, чем при дуговых способах, по этому параметру плазменная сварка уступает только лазерной сварке. Плазменная сварка позволяет получать соединения, равнопрочные с основным металлом и менее требовательна к зазорам по сравнению с лазерной и контактной сваркой.

1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных операций при выполнении ремонтных работ на кузове автомобиля. В ходе анализа базовой технологии и известных решений по теме обоснована возможность замены контактной точечной сварки и дуговой сварки на плазменную точечную сварку, которая обладает большей универсальностью и позволяет получать качественные соединения с хорошим внешним видом, соизмеримым с контактной точечной сваркой. Также плазменная сварка характеризуется большей энергетической эффективностью, что позволяет обеспечить построение ремонтного участка в условиях устаревших силовых сетей, так как установленная мощность оборудования при точечной плазменной сварке существенно ниже, чем при контактной точечной сварке и чем при дуговой сварке.

На основании вышеизложенного могут быть сформулированы задачи для выполнения выпускной квалификационной работы. Первой задачей является выбор типа оборудования и схемы питания для построения процесса плазменной точечной сварки. Второй задачей является выбор и модернизация оборудования для точечной плазменной сварки деталей кузова автомобиля. Третьей задачей является построение типового технологического процесса ремонтной сварки.

После разработки исполнительского раздела предстоит выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе необходимо проанализировать предлагаемые решения на предмет безопасности труда, пожарной и экологической безопасности. Во втором оценочном разделе следует провести экономическое обоснование предлагаемых решений.

На основании проведенных работ предстоит подготовить выводы в ходе которых доказать достижение поставленной цели и перспективность применения предлагаемых решений в производство.

2 Проектная технология ремонта кузовных деталей автомобиля с применением точечной плазменной сварки

2.1 Сущность плазменной точечной сварки

Для построения проектной технологии предложим применить способ, разработанный исследователями Тольяттинского государственного университета [1], схема которого представлена на рисунке 16. Свариваемая деталь представлена на схеме двумя листами, расположенными внахлест, верхний лист обозначен позицией 3, нижний лист обозначен позицией 6. Сжатая дуга, которая обозначена на схеме выполнения способа позицией 4, горит между неплавящимся электродом 1 и деталью. Неплавящийся вольфрамовый электрод устанавливается в сопло 2, которое обеспечивает сжатие сварочной дуги и подачу инертного газа в зону сварки. Первоначально сжатая дуга горит между неплавящимся электродом 1 и верхним листом детали 3. В это время устанавливается минимальный расход плазмаобразующего газа, что позволяет стабилизировать пространственное положение сжатой дуги, избегая её блуждания по поверхности верхней детали. В результате теплового действия дуги на верхнем листе детали образуется сварочная ванна, которая по мере горения дуги растет в размерах, эта сварочная ванна обозначена на схеме позицией 5. Это состояние показано на рисунке позицией (а). По мере роста сварочной ванны 5 на листе 3 с нуля до шести толщин верхнего листа происходит изменение её размеров 0 от плоской формы она переходит к тороидальной, что усиливается увеличением расхода плазмаобразующего газа. В результате расплавленный металл оттесняется к краям сварочной ванны, в которой образуется отверстие, позволяющее дуге воздействовать на нижний лист детали 6. Это состояние на рисунке показано позицией (б). После расплавления верхнего листа расход плазмаобразующего газа опять снижают до минимального, при этом тороидальная форма расплавленного металла верхнего листа сохраняется. Далее начинает

расплавляться нижний лист 6, на котором образуется сварочная ванна 7. По мере роста сварочной ванны 7 на нижнем листе 3 происходит её слияние с расплавленным металлом верхнего листа 8, протекание расплавленного металла 8 верхнего листа в нижнюю сварочную ванну и закрытие отверстия в верхнем листе. Такое состояние системы показано на рисунке позицией (в).

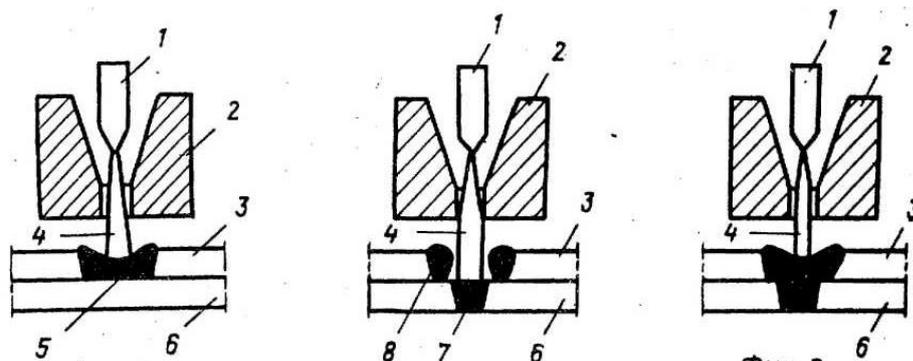


Рисунок 16 - Схема точечной плазменной сварки согласно изобретению [16]

Описанная схема формирования соединения при точечной плазменной сварке обладает высоким потенциалом к применению и характеризуется устойчивостью по отношению к возмущениям технологического процесса.

Предлагаемый процесс имеет ряд преимуществ, которые позволят внедрить его в производство с получением положительного эффекта. Первым преимуществом является стабильность горения сжатой дуги, что обеспечивает равномерное проплавление кромок и формирование сварного соединения по внешнему виду схожего с контактной точечной сваркой. Вторым преимуществом является высокая проплавляющая способность сжатой дуги, что обеспечивает формирование гарантированного проплавления верхнего листа и отсутствие непроваров. Третьим преимуществом является цилиндрическая форма сжатой дуги, что обеспечивает стабильность процесса при изменении расстояния от сопла до изделия, это особенно важно при выполнении ремонтной сварки. На рисунке 17 представлен сравнительный анализ макрошлифов сварных соединений, которые были выполнены с применением контактной точечной сварки (а) и плазменной точечной сварки (б).



Рисунок 17 – Сравнение макрошлифов сварных соединений, которые были получены с применением контактной точечной (а) и плазменной точечной (б) сварки [29]

Таким образом, применение предлагаемого способа позволяет не только обеспечить качественное соединение, но и улучшить внешний вид конструкции после ремонта.

2.2 Обоснование выбора схемы питания сжатой дуги

При питании сжатой дуги возможно применение нескольких схем. Первая схема, представленная на рисунке 18, предусматривает питание сжатой дуги постоянным током обратной полярности. Позицией 7 обозначена деталь, на которую горит сжатая дуга 6 от неплавящегося электрода 2. Неплавящийся электрод 2 установлен в изолятор-завихритель 3. Сжатие дуги обеспечивается плазмообразующим соплом 4, дуга горит в среде плазмообразующего газа Гп. Защита сварочной ванны обеспечивается защитным газом Гз, который поступает через сопло 5.

Сварка на обратной полярности требует усложнения конструкции плазматрона, так как увеличивается нагрузка на неплавящийся электрод, в результате чего, при недостаточном его охлаждении может происходить ускоренный износ электрода [33], [34]. Пример износа электрода представлен на рисунке 19. Именно электрод может считаться самой нагруженной и быстро изнашивающейся частью при выполнении точечных сварных соединений сжатой дугой на обратной полярности. Преимуществом сварки на обратной полярности является возможность снижения требований по подготовке поверхности деталей перед сваркой, так как процесс катодной очистки позволяет получить качественное соединение даже при наличии загрязнений.

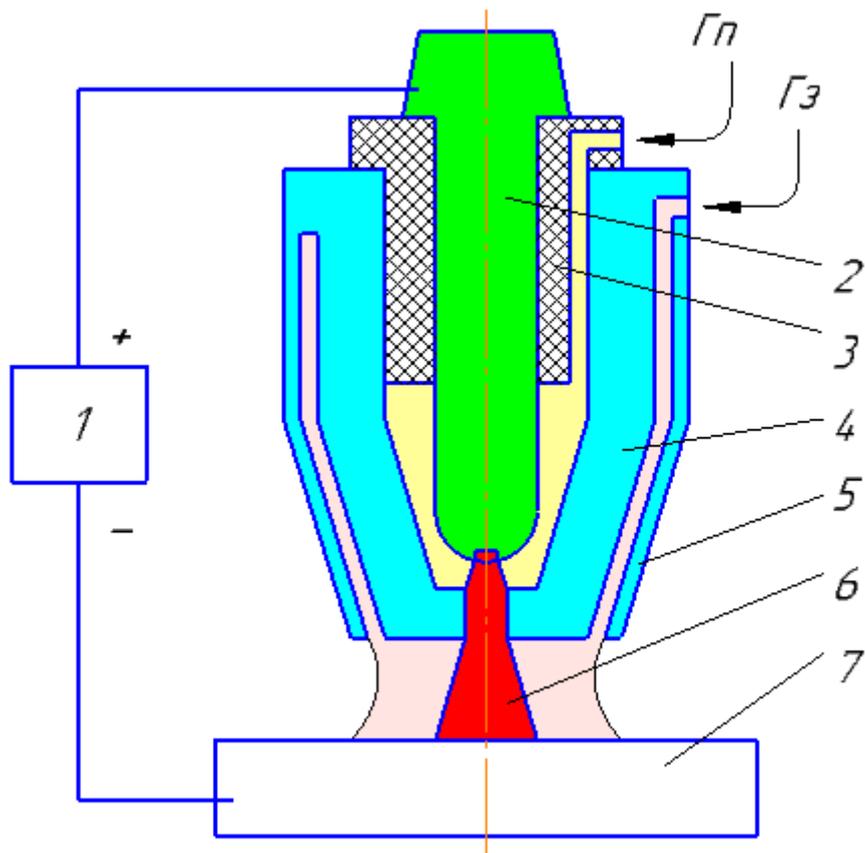


Рисунок 18 – Схема питания сжатой дуги постоянным током обратной полярности

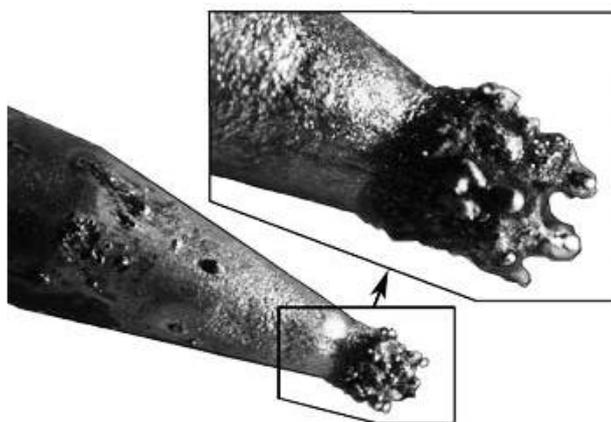


Рисунок 19 – Износ вольфрамового электрода после выполнения 100 точек на обратной полярности

Применение сварки на обратной полярности также позволяет повысить производительность процесса и обеспечивает стабильное качество получаемых соединений. Также при такой схеме питания упрощается управление вложением тепла в основной металл, что улучшает внешний вид изделия после ремонта.

Вторая схема питания сжатой дуги при плазменной точечной сварке представлена на рисунке 20 и предусматривает применение переменного тока. Такая схема питания позволяет уменьшить нагрузку на неплавящийся электрод при сохранении процесса катодной очистки поверхности деталей. При сварке на переменном токе поочередное горение дуги на прямой и обратной полярности позволяет обеспечить охлаждение вольфрамового электрода, что положительно сказывается на его ресурсе. Для сварки на переменном токе предложены оригинальные конструкции плазматронов, обеспечивающие получение соединений приемлемого качества [22]. Доказана эффективность применения промышленных источников питания для точечной плазменной сварки на переменном токе [9]. Однако сварка на переменном токе характеризуется малой стабильностью горения дуги, в результате чего приходится применять дополнительные средства по повышению стабильности повторного зажигания дуги при переходе тока через нулевое значение. В условиях ремонтного предприятия это усложняет оборудование и сам процесс сварки.

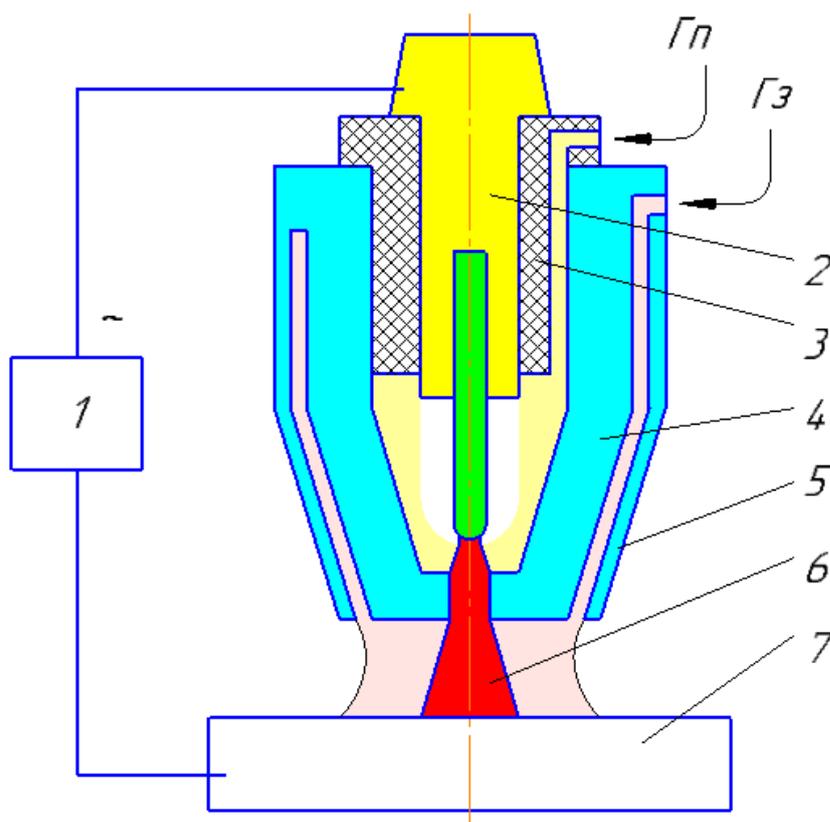


Рисунок 20 – Схема питания сжатой дуги переменным током

Повышение стабильности горения сжатой дуги при сварке на переменном токе достигается за счёт применения плазменной трехфазной сварки, схема выполнения которой представлена на рисунке 21. На схеме два неплавящихся электрода, которые обозначены позициями 5, закреплены в электрододержателях 2, фиксирование которых относительно сопла 4 осуществляется посредством изолятора 3. Сжатая дуга 6 горит поочередно между электродами 5 и деталью 7. Такая схема питания позволяет уменьшить тепловую нагрузку на сопло плазматрона и повысить стабильность горения дуги.

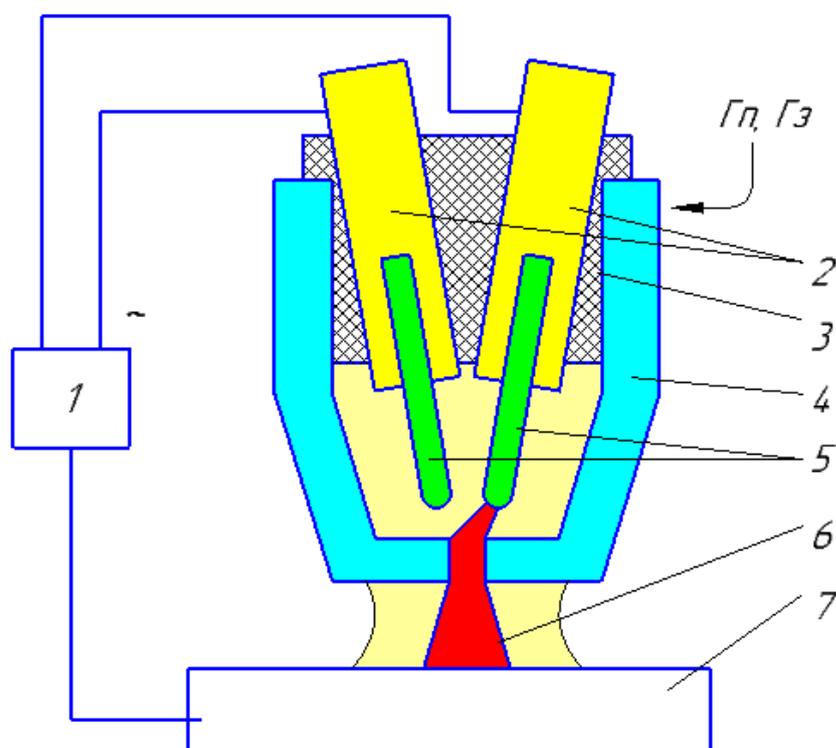


Рисунок 21 – Схема питания сжатой дуги при трехфазной сварке

Недостатком такой схемы питания сжатой дуги является усложнение источника питания и самой плазменной горелки, что в условиях ремонтного предприятия может оказаться неоправданным.

Исходя из проведенного анализа для построения проектной технологии предлагается применить сварку на постоянном токе обратной полярности, для которой предстоит устранить проблему износа вольфрамового электрода.

2.3 Конструкция плазматрона

Для того, чтобы обеспечить высокую стойкость вольфрамового электрода при сварке на постоянном токе обратной полярности предлагается применить комбинированный способ точечной сварки, который обеспечивается конструкцией плазматрона согласно изобретению российских исследователей-сварщиков [23]. «В корпусе 1 установлен кольцевой неплавящийся электрод 2. Между электродом 2 и изделием 9 горит сжатая дуга 8. В плазматроне также имеется пусковой неплавящийся электрод 3, в котором выполнено отверстие 10. Пусковой электрод 3 размещён внутри кольцевого электрода 2. Между изделием 9 и пусковым электродом 3 горит дуга 11» [23]. «В отверстие 10 пускового электрода 3 вставляется плавящаяся проволока 4, которая имеет возможность поступательного перемещения относительно пускового электрода 3. Каналы для подачи охлаждающей воды выполнены в корпусе 1. Плазмообразующий и защитный газы подаются через каналы 12 и 13, которые также выполнены в корпусе 1» [23]. «В процессе сварки к источнику питания 5 подключены кольцевой неплавящийся электрод 2 и свариваемое изделие 9. К источнику питания 6 подключены осциллятор 7, пусковой электрод 3 и свариваемое изделие 9» [23]. «При сварке выполняют позиционирование плазматрона относительно свариваемой детали 9, включают подачу через каналы 12 и 13 плазмообразующего и защитного газов, а также подачу охлаждающей воды. Далее включают источник питания 6 и осциллятор 7. Под действием кратковременного включения осциллятора 7 между пусковым электродом 3 и изделием 9 загорается дуга 11. После включения источника 5 начинает гореть сварочная дуга 8, она горит между кольцевым электродом 2 и изделием 9. После загорания дуги 8 включают подачу плавящегося электрода 4. В момент выхода плавящегося электрода 4 из осевого отверстия 10 загорается дуга 14, которая горит между электродом 4 и изделием 9, а дуга 11 между пусковым электродом 3 и изделием 9 гаснет» [23].

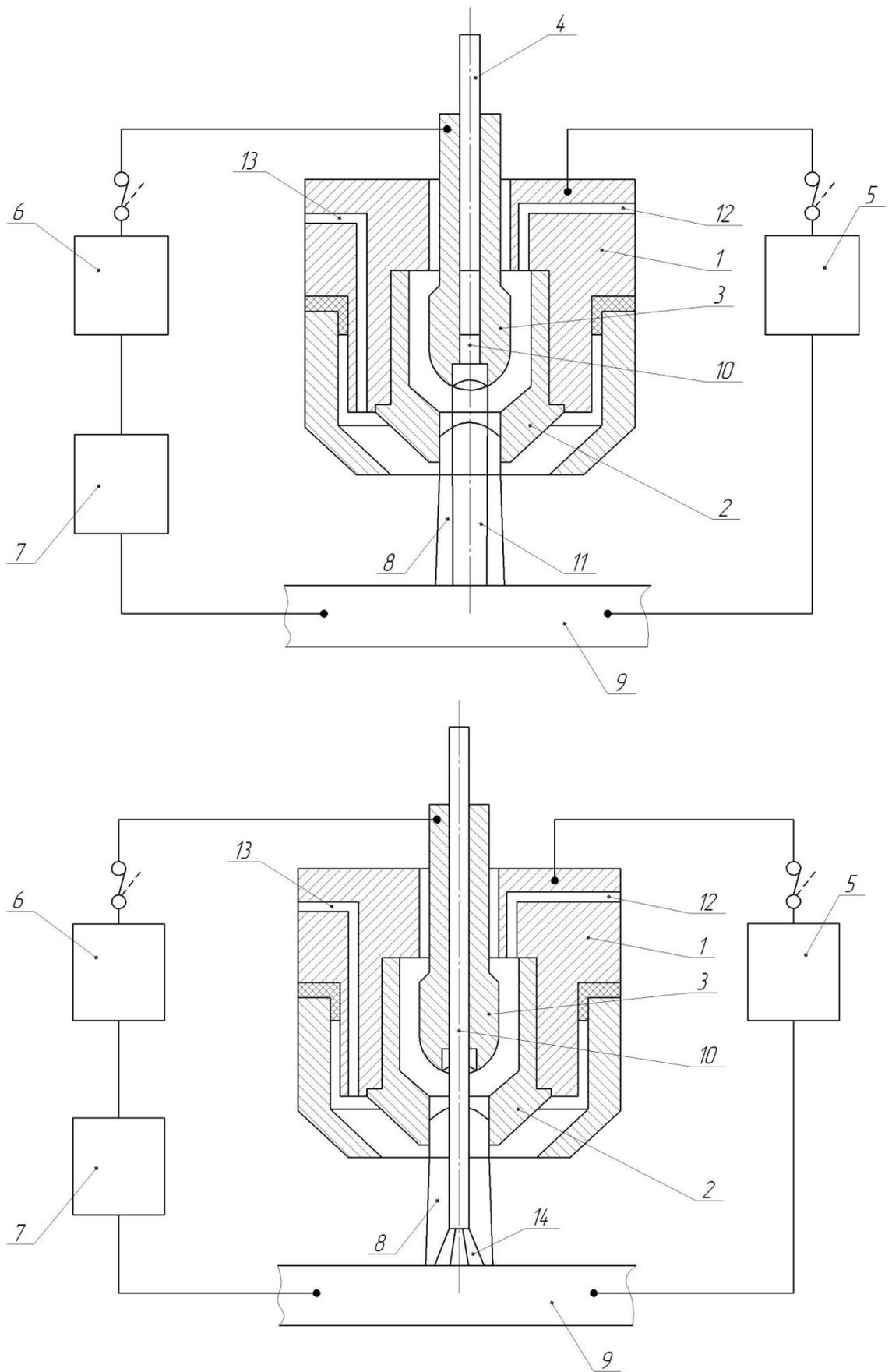


Рисунок 22 – Схема работы плазматрона при осуществлении предлагаемого способа сварки

Таким образом, комбинированная сварка позволяет обеспечить стабильное зажигание и горение сжатой дуги. Применение плавящегося электрода позволяет получить два положительных эффекта. Первым эффектом является устранение проблемы износа вольфрамового электрода при сварке на постоянном токе обратной полярности. Вторым положительным эффектом является возможность качественной заварки кратера, которые при плазменной точечной сварке неплавящимся электродом неизбежно возникает по причине нехватки металла для полного заполнения сварочной ванны. Таким образом, полученное сварное соединение будет обладать не только высокой прочностью, но и эстетичным видом, а при проведении последующей обработки поверхности становится возможным получение безследной сварки, что особенно важно при ремонте части кузова с лицевыми поверхностями.

2.4 Способ сварки

При выполнении точечной плазменной сварки в условиях ремонтного предприятия наблюдается низкая стабильность зазора между деталями, что объясняется их неплотным прилеганием. Нарушение прилегания детали происходит по причине недостаточной точности подгонки деталей друг к другу. Поэтому качество сварных точек может пострадать, так как формирование сварной точки происходит при неблагоприятных условиях. Для того, чтобы устранить влияние неточности сборки на качество сварных соединений предлагается применить сварку с предварительным обжатием, схема, которой представлена на рисунке 23. Формирование зоны обжатия деталей выполняется за счёт применения двух обжимающих втулок, которые установлены концентрично соплу плазматрона 6. Внешняя втулка, показанная на схеме позицией 3, имеет внутренний диаметр d . Внутренняя втулка, показанная на схеме позицией 5, имеет внутренний диаметр d_1 . С обратной стороны деталей, которые на схеме показаны позициями 1 и 2, к внешней поджимающей втулке подводится обратная втулка, обозначенная позицией 4.

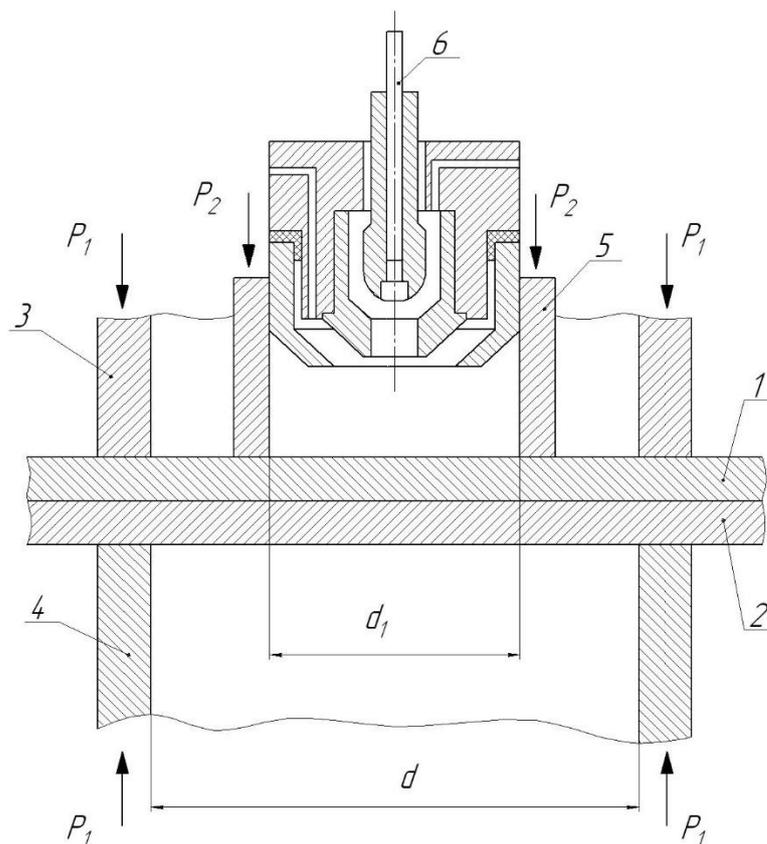


Рисунок 23 – Схема точечной плазменной сварки с предварительным обжатием

Перед сваркой выполняют сжатие пары внешних втулок 3 и 4 с усилием P_1 , что закрепляет детали и выбирает зазор между ними. Далее за счёт подачи усилия P_2 на внутренние втулки формируется поле растягивающих напряжений в свариваемых деталях. Как показали результаты экспериментов, оптимальное соотношение диаметров внешней втулки и внутренней втулки составляет 1 к 0,6...0,8. При таком соотношении обеспечивается благоприятная картина растягивающих напряжений при минимальных деформациях поверхности. После того, как процесс предварительного деформирования завершен, начинают сварку, которую ведут с приложенными усилиями P_1 и P_2 . Кристаллизация сварной точки также проходит под действием сжимающих усилий P_1 и P_2 , которые снимают после сварки. При этом происходит перераспределение остаточных напряжений, что положительно сказывается на усталостной прочности соединения. На рисунке 24 представлена циклограмма нагружения.

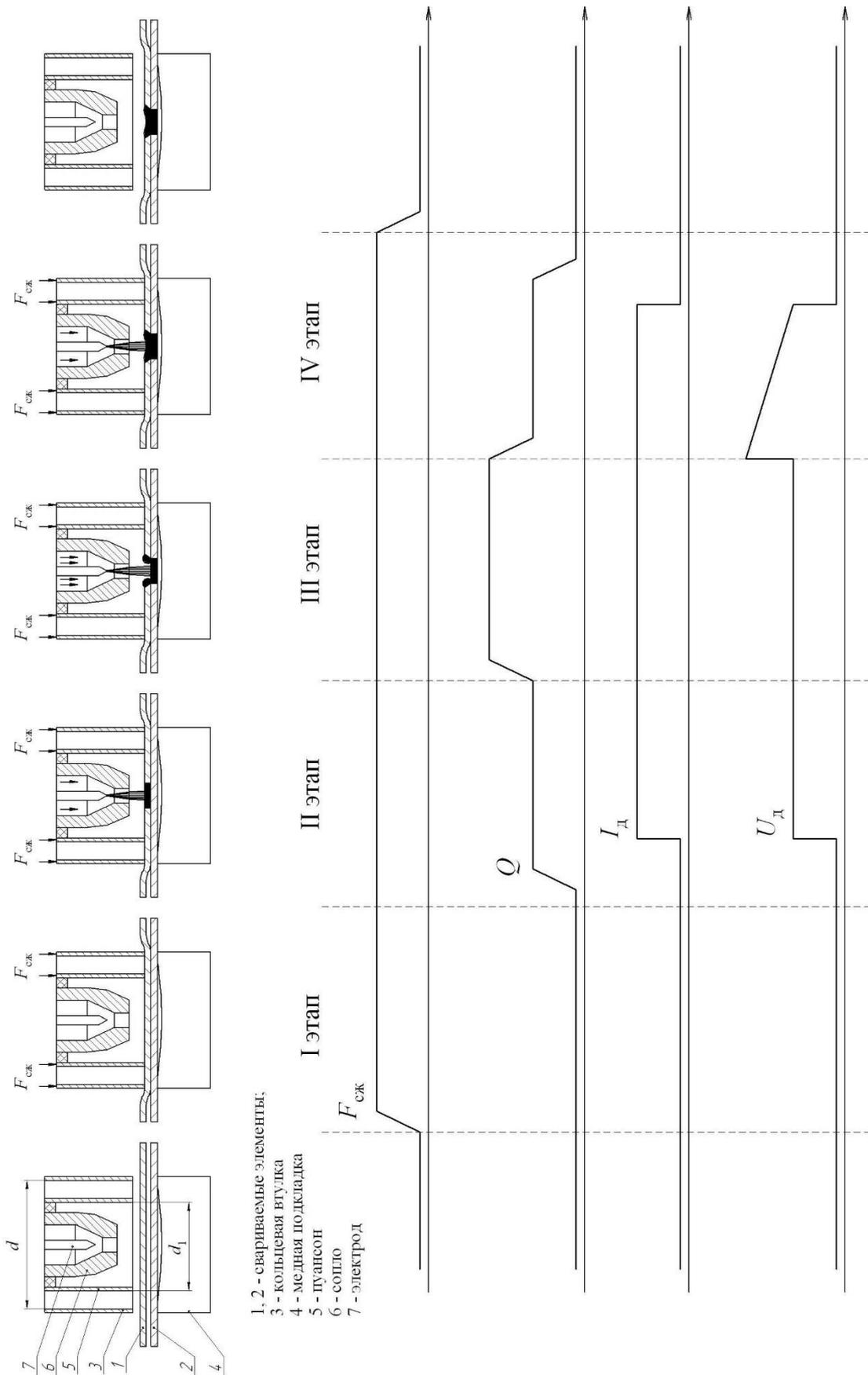


Рисунок 24 – Циклограмма нагружения при сварке с предварительным обжатием

На рисунке 25 представлена пневматическая схема установки, позволяющая обеспечить предлагаемый способ сварки с предварительным обжатием.

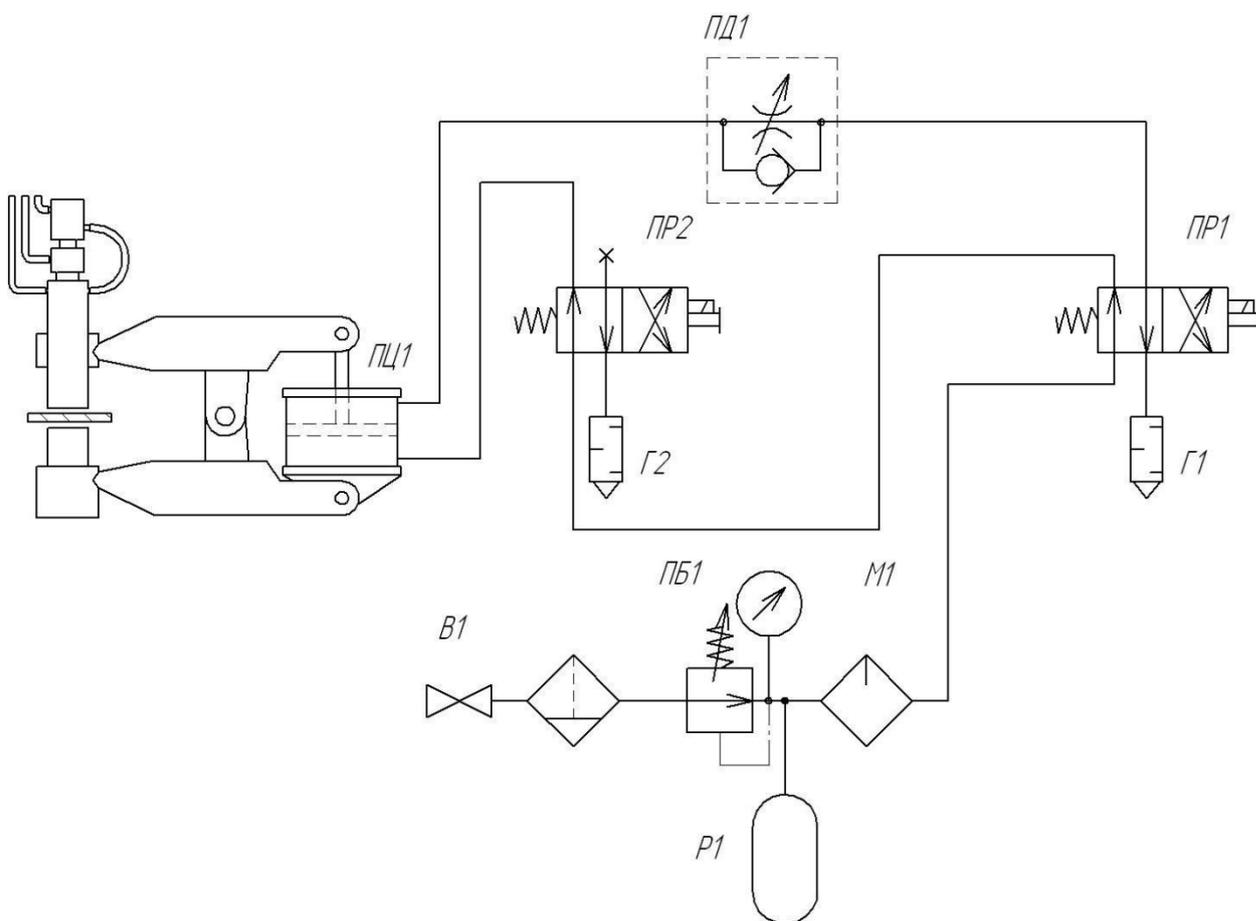


Рисунок 25 – Пневматическая схема установки для точечной плазменной сварки с предварительным обжатием

В состав пневматической схемы входят пневматический цилиндр системы сжатия ПЦ1, дросселирующий клапан ПД1, который позволяет регулировать скорость перемещения при обратном ходе пневматического цилиндра. Два пневматических распределителя PR1 и PR2 служат для регулирования подачи сжатого воздуха в камеры пневматического цилиндра ПЦ1. Снижение уровня шума при работе привода обеспечивается глушителями Г1 и Г2. Очистка и редуцирование воздуха выполняется блоком подготовки ПБ1, насыщение воздуха маслом – маслораспылителем М1. Подача воздуха выполняется через вентиль В1. Сглаживание скачков давления в системе обеспечивается ресивером Р1.

При выполнении сварных соединений часть плазменных точек сваривается на медной подкладке, другая – может быть сварена на весу. Медные подкладки защищают нижний лист от перегрева и предотвращают прожег, что актуально, особенно, если нижний лист больше верхнего. Однако встречаются случаи, где использование медной подкладки затруднительно, либо невозможно. На рисунке 26 и в таблице 1 приведен «сравнительный анализ плазменных точек, выполненных: без зазора (на весу и на медной подкладке), а также с зазором на медной подкладке. Сравнение проводилось по срезающему усилию, по диаметру литого ядра, его овальности на 30 образцах со сварными плазменными точками применительно к каждому условию. Разрыв образцов производился согласно ГОСТ 6996-66 на универсальной разрывной машине N100K-S производства компании Tinius Olsen. Согласно результатам эксперимента разброс значений срезающего усилия и диаметра литого ядра плазменной точки как при сварке на медной подкладке, так и при сварке на весу, примерно одинаков, однако при сварке на весу диаметр литого ядра имеет несколько большее отклонение от некруглости, что, вероятно, вызвано ухудшением условий отвода теплоты. Повышение зазора резко ухудшает качество плазменной точки: разброс значений диаметра литого ядра значительно отклоняется от закона нормального распределения, литое ядро получается «рваное» (значительное отклонение от некруглости), разброс значений срезающего усилия растягивается в сторону с меньшими значениями» [30].

Излом после проведения испытаний на отрыв представлен на рисунке 27. В большинстве случаев разрушение происходило по основному металлу в ЗТВ, где макрорельеф излома отличается однородностью, с мелкошероховатой матовой поверхностью (а). Реже встречались случаи неоднородного излома с разрушением не только по основному металлу, но и по литой зоне точки, где макрорельеф излома серого цвета, сглаженный, характерный для литой стали (б). Дефектов в изломах не выявлено.

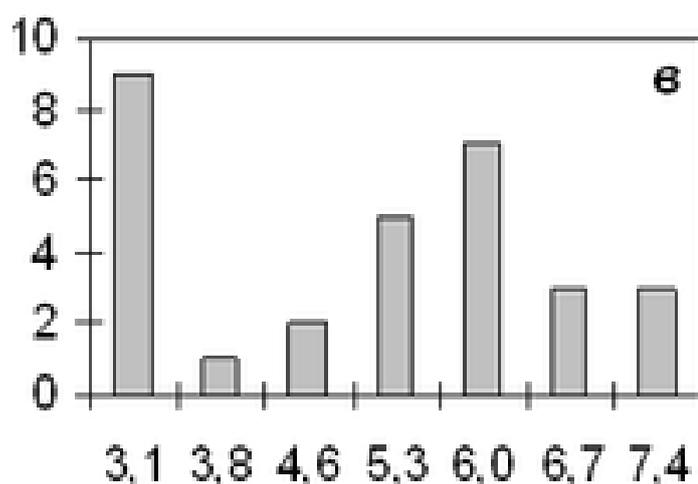
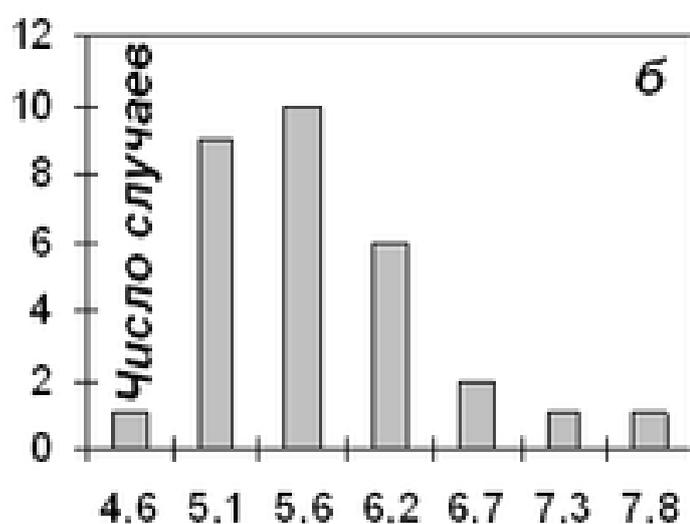
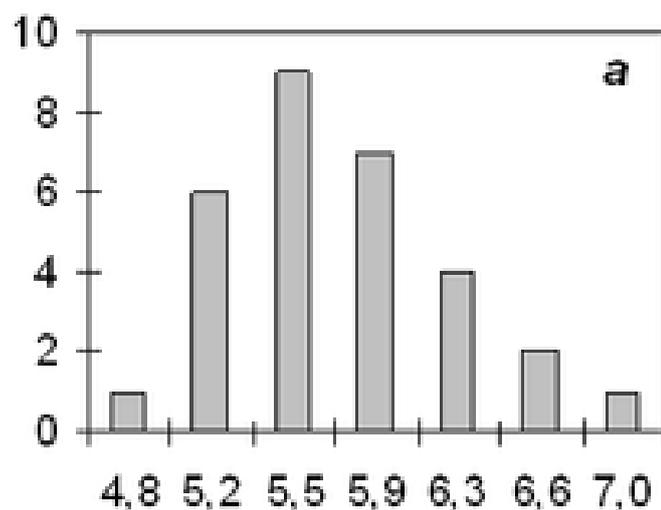


Рисунок 26 – Гистограммы распределения размера диаметра литого ядра плазменной сварной точки при различных условиях сварки: а) – на медной подкладке с нулевым зазором, б) – на весу с нулевым зазором, в) – на медной подкладки с зазором 0,5 между заготовками.

Таблица 1 – Сравнение плазменных сварных точек при различных условиях сварки

Условия PSW сварки		Сварка на медной подкладке		Сварка на весу
Зазор между свариваемыми деталями, мм		0	0,5	0
Среднее значение и стандартное отклонение	Диаметр литого ядра, мм	5,5±0,5	4,7±1,4	5,4±0,6
	Срезающее усилие, кН	9,3±1,1	7,2±3,5	9,5±0,9
Брак по некруглости (d_{max}/d_{min} более 1,2), %		0	20	7



Рисунок 27 – Макрорельеф излома плазменной точки после испытаний на разрыв: а) - с разрушением по основному металлу; б) - с разрушением по основному металлу и по литой зоне точки, х8.

Таким образом, на основании литературных исследований доказана эффективность применения предлагаемого способа точечной плазменной сварки с предварительным обжатием зоны сварки. В условиях ремонтного предприятия внедрение предлагаемых решений потребует организации централизованного производства компонентов сварочного оборудования: устройств предварительного обжатия и плазматронов предложенной конструкции. Построение такого производства соответствует промышленной политике Российской Федерации, взявшей направление на укрупнение и унификацию производств с применением единых технических решений, что позволит повысить эффективность в условиях мобилизации ресурсов.

2.5 Технология ремонтной сварки кузовных деталей

Для сварки в качестве источника питания предлагается применить представленный на рисунке 28 источник питания для плазменных процессов РМІ 350. Данный инверторный источник питания позволяет вести плазменную сварку на постоянном токе до 350 ампер. Источник питания является универсальным и помимо плазменной сварки позволяет реализовать такие процессы, как плазменная порошковая наплавка, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения. Могут быть сварены такие материалы, как нержавеющая сталь, алюминиевые и магниевые сплавы, титан, латунь, медь, низкоуглеродистая сталь, оцинкованный прокат. Питание источника осуществляется от сети трехфазного напряжения. Настройки источника позволяют осуществлять регулирование сварочного тока в диапазоне 3...350 ампер. Для подачи присадочной проволоки при выполнении сварного соединения предлагается применить прецизионный механизм подачи проволоки Electrex AF TIG Coldwire PULSE представленный на рисунке 29.



Рисунок 28 – Источник питания для точечной плазменной сварки РМІ 350/500

Применение в качестве защитного и плазмообразующего газа аргона при точечной плазменной сварке малоэффективно, так как аргон имеет малую теплопроводность. Так как сварка выполняется с применением плавящегося электрода, вместо чистого аргона может использоваться смесь аргона с водородом. При сварке с применением вольфрамового электрода добавка водорода приводит к повышению тепловой нагрузки на сварочный электрод, но в условиях применения плавящегося электрода с этим можно не считаться. Таким образом, применим смесь аргона с водородом в соотношении 6 к 94, что позволяет повысить качество сварки за счёт лучшей передачи тепла детали посредством водорода. На рисунке 30 представлен блок подготовки газовой смеси «аргон-водород».



Рисунок 29 – Механизм подачи сварочной проволоки соединения предлагается применить прецизионный механизм подачи проволоки Electrex AF TIG Coldwire PULSE



Рисунок 30 – Подготовка газовой смеси «аргон-водород»

В работе [31] показано, что увеличение зазора между свариваемыми деталями критически сказывается на качестве точечного сварного соединения при плазменной сварке. На рисунке 31. Представлена диаграмма зависимости геометрии сварной точки от величины зазора между деталями. При сварке с предварительным обжатием удается устранить эту проблему. Усилие предварительного обжатия в зависимости от толщины свариваемых деталей представлено в таблице 2.

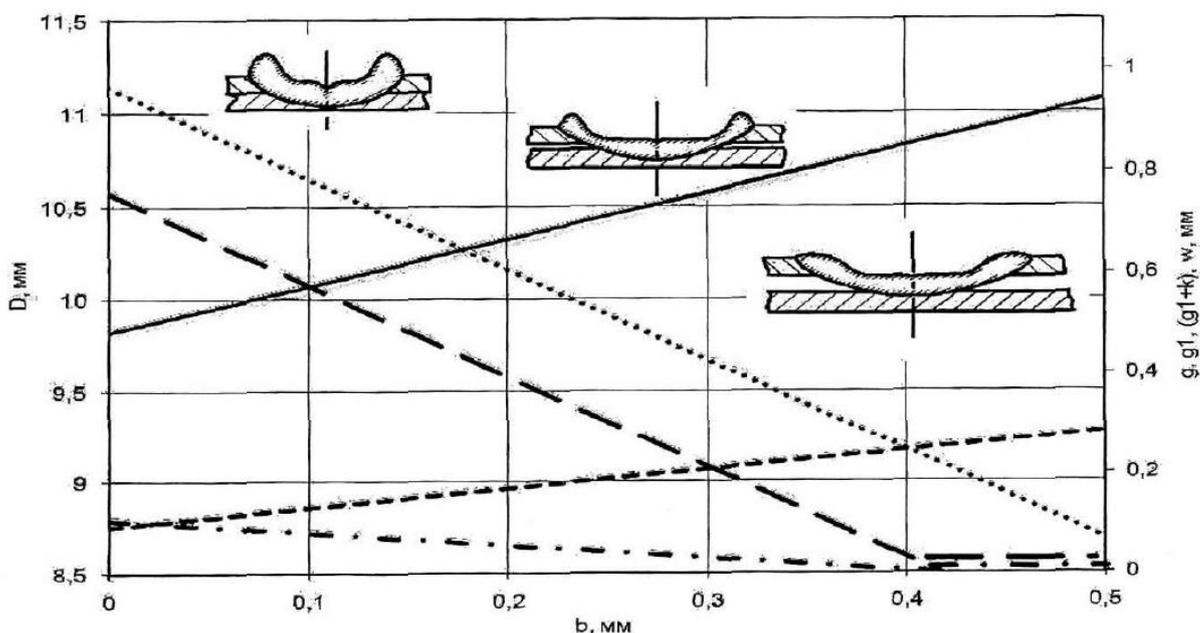


Рисунок 31 – Геометрия сварной точки в условиях различного зазора между свариваемыми деталями

Таблица 2 – Величина усилия предварительного обжатия для различных толщин при сварке деталей из низкоуглеродистых и высокопрочных сталей

Толщина, мм	0,8+0,8	1,2+1,2	1,6+1,6	2,0+2,0	2,5+2,5
Усилие, кН	250...350	400...500	600...700	850...950	1100...1300

Для сварки в качестве плавящегося электрода применяется проволока Св-08Г1С диаметром 1,4 мм. Так как подача проволоки при сварке незначительная, то состав проволоки не повлияет существенно на состав металла сварной точки и в условиях ремонтной сварки изменением состава сварной точки можно пренебречь.

При сварке для толщин 1+1 мм предлагается применить силу сварочного тока 230 А, длительность сварочного импульса 0,4 с. Расход газа составляет 2 литра в минуту. Такие параметры согласуются с литературными данными [28], [30]. При сварке толщин 1,5+1,5 мм предлагается применить силу сварочного тока 300 А, длительность импульса сварочного тока 0,6 с. Расход газа составляет 2 литра в минуту.

На рисунке 32 представлена макроструктура сварной точки при соединении листов толщиной 2+1,5 мм.

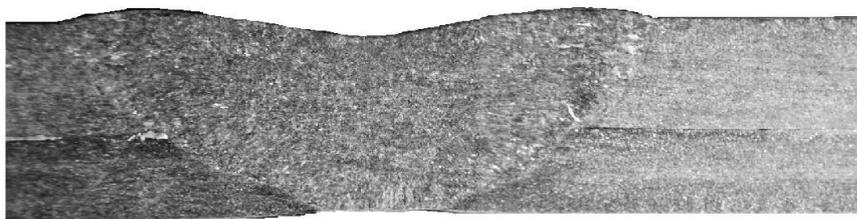


Рисунок 32 – Макроструктура сварного соединения при точечной плазменной сварке деталей толщиной 2+1,5 мм

При проверке качества сварки проверяется наличие и правильность расположения сварных точек согласно чертежу или техническому заданию. Поверхность металла не должна иметь ярко выраженных следов пережога и окалины, наличие таких атрибутов является признаком некачественного соединения. Глубина вмятины в области центра сварной точки не должна превышать 0,1 толщины, а высота выпуклости – не более 0,5 толщины. Поверхность металла не должна иметь следов выплеска и прожога. При осмотре сварной точки с применением увеличительного стекла не должны обнаруживаться трещины и поры размером более 0,5 мм. При испытаниях на разрыв должен происходить вырыв основного металла с оставлением сварной точки диаметром не менее $2s+3$ мм, где s – толщина свариваемого металла в мм. Допускается в сомнительных случаях выполнять проверку точки надрывом, размещая зубило между листами деталей и постукивая по нему молотком, при этом должен происходить надрыв основного металла вокруг сварной точки. Допускается проверка не более одной точки на изделие, если их количество не менее 5.

Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решены поставленные задачи, связанные с построением технологического процесса ремонтной сварки кузова автомобиля. Для повышения эффективности точечной плазменной сварки применены разработки российских исследователей с варщиков в области управления сварочными процессами.

Предлагаемая технология позволяет обеспечить прочность соединения, соизмеримое с дуговыми способами сварка, а внешний вид соединения после обработки поверхности сварной точки аналогичен соединению, выполненному контактной точечной сваркой. В отличие от контактной точечной сварки, которая требует подвода к сварочному участку силовых сетей повышенной мощности, применение точечной плазменной сварки может проходить в условиях подвода малой мощности, так как установленная мощность оборудования на порядок меньше, чем мощность оборудования для контактной сварки. Кроме того, оборудование для плазменной сварки более универсально, чем для контактной сварки. Например, источник питания может быть использован как для плазменной, так для механизированной сварки и для сварки неплавящимся электродом в инертных газах.

Дальнейшие работы предстоит вести в направлении обоснования экологичности предлагаемых технических решений и доказательства возможности обеспечения промышленной безопасности производственного участка, на котором будет реализована предлагаемая сварочная технология [5].

Также предстоит выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений выпускной квалификационной работы. На основании анализа изменяющихся экономических показателей базовой и проектной технологии следует оценить целесообразность реализации проектной технологии на предприятиях Российской Федерации [11], [12].

3 Трудовая и экологическая безопасность производственного участка

3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений

В ходе выполнения аналитического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные и базовая технология, обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии, сформулированы задачи выпускной квалификационной работы. В ходе выполнения исполнительского раздела описаны решения поставленных задач, составлена проектная технология и предложены технические решения по повышению эффективности точечной плазменной сварки. В настоящем разделе предстоит оценить полученные решения с точки зрения возможности обеспечения промышленной безопасности, пожарной безопасности и экологической безопасности. На основании анализа проектной технологии составлена таблица 3, включающая укрупненные операции проектного технологического процесса и их описание, что позволит в дальнейшем выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, возникновение которых будет сопровождать выполнение операций проектного технологического процесса на рассматриваемом ремонтном участке. Укрупненно технологический процесс можно представить в виде следующих операций: зачистка дефектного места, сборка, приварка ремонтной заплатки, контроль качества, механическая обработка сварных соединений. В таблице 3 представлены особенности реализации проектного технологического процесса, которые позволяют выявить производственные объекты и участников, которые могут подвергнуться действию негативных производственных факторов. Данные для заполнения таблицы выбираются исходя из составленного в предыдущем разделе проектного технологического процесса.

Таблица 3 - Особенности реализации проектного технологического

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
Зачистка дефектного места	слесарь-сборщик	Машинка радиальная шлифовальная	Сжатый воздух
Сборка	слесарь-сборщик	Универсальный шаблон сварщика, сборочное приспособление	Сжатый воздух
Сварка	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Пост для точечной плазменной сварки	Аргон, водород, сжатый воздух, вода
Контроль качества	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	Масло
Механическая обработка	слесарь-сборщик	Машинка радиальная шлифовальная	Сжатый воздух

Данные таблицы 3 позволяют идентифицировать возникающие в процессе реализации проектной технологии негативные производственные факторы.

3.2 Профессиональные риски

При выполнении представленных в таблице 3 операция проектного технологического процесса наблюдается возникновение негативных производственных факторов. Действие этих факторов на персонал предприятия позволяет классифицировать их как опасные (вызывают резкое ухудшение состояния вплоть до гибели) и вредные (вызывают ухудшение самочувствия и здоровья в результате длительного воздействия).

В таблице 4 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторах. Далее следует предложить технические средства и организационные мероприятия по их нейтрализации с применением стандартных решений.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор
Зачистка дефектного места	«острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Сборка	острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Сварка	повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги инфракрасное излучение; ультрафиолетовое излучение
Контроль качества	ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья: острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования
Механическая обработка	острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны» [5]

При реализации проектной технологии в качестве источников негативных производственных факторов выступает применяемое сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга. Также источником негативных факторов выступает вспомогательное оборудование, в ходе эксплуатации которого возможно получение травм. При оценке негативных факторов следует учитывать повышение их опасности при совместном действии нескольких факторов и кумулятивный эффект при длительном действии факторов.

3.3 Устранение профессиональных рисков

На основании приведенного выше перечня идентифицированных негативных производственных факторов, оказывающих влияние на персонал предприятия в ходе реализации проектного технологического процесса, могут быть рекомендованы технические средства и организационные мероприятия, направленные на нейтрализацию опасного и вредного действия на персонал. В таблице 5 представлены предлагаемые средства по обеспечению производственной безопасности, реализация которых предусматривает применение стандартных средств и методик.

Таблица 5 – Средства и мероприятия по обеспечению безопасности труда

«Негативный фактор»	Техническое решение	Средства защиты
острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	предупреждающие плакаты и таблички; защитное отключение приводов оборудования; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	общеобменная вентиляция; устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	проверка изоляции и заземления; проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	проведение инструктажа по технике безопасности; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками» [5]

Особую значимость имеет соблюдение трудовой дисциплины и порядка на рабочем месте. Многолетняя практика показывает, что именно захламление рабочего места становится главной причиной травматизма, возникновения внештатных ситуаций и снижения качества выпускаемой продукции. Представленный перечень опасных и вредных производственных факторов является стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений. Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

3.4 Пожарная безопасность предприятия

При выполнении операций технологического процесса, связанных со сваркой, существенно повышается опасность возникновения пожара на производственном участке. Источником опасности становится сварочная дуга и устройства для термической обработки. Также следует принимать во внимание, что для питания технологического оборудования требуется подвод электрической энергии значительной мощности, нарушение в работе силовой аппаратуры предприятия также становится причиной возникновения пожаров. В таблице 6 представлена информация по идентификации пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке при неблагоприятном стечении обстоятельств. Как видно из представленных данных, пожар следует отнести к классу «Е», поскольку при его возникновении на всем этапе протекания и тушения сохраняется высокая опасность поражения электрическим током. В случае пожара люди могут подвергнуться потоку раскаленного воздуха, испытать снижение концентрации кислорода, подвергнуться инфракрасному излучению, действию открытого пламени, отравляющему действию продуктов горения. Также при пожаре ухудшается видимость и возможно обрушение

конструкций, что препятствует эвакуации персонала и тушению пожара. В ходе пожара может происходить нарушение электрической изоляции, что может стать причиной травм. В таблице 7 представлен предлагаемый набор средств, направленных на обеспечение пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка.

Таблица 6 – Идентификация опасных факторов при пожаре

Участок	Участок ремонтной сварки кузова автомобиля
«Наименование оборудования»	Оборудование для подготовки, сборки и сварки, аппаратура контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [5]

Таблица 7 – Средства тушения пожаров на производственном участке

«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	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [5]

Существенная роль в обеспечении пожарной безопасности отводится соблюдению трудовой дисциплины, что позволяет значительно снизить опасность возгорания. Помимо этого, с персоналом следует проводить тренинги и инструктаж, направленный на повышение ответственного

отношения к трудовому процессу и отработке поведения в случае возникновения внештатных ситуаций. Грамотные действия персонала в начале возникновения пожара в значительной мере определяют последствия пожара и легкость его тушения.

3.5 Экологическая безопасность производственного участка

Современное производство рассматривается не только с точки зрения возникновения опасности для персонала, но и с точки зрения нанесения вреда окружающей среде, так как следование мировой экологической повестке заставляет уделять большее внимание вопросу обеспечения экологичности производственных процессов. Оборудование для сварки характеризуется негативным действием на природные составляющие, к которым относят гидросферу, литосферу и атмосферу. Происходит выброс значительного числа аэрозолей, твердых и жидких отходов, загрязняющих составляющие природы. Защита природы от антропогенного действия со стороны рассматриваемого производственного участка обеспечивается рядом мероприятий, представленных в таблице 8.

Таблица 8 – Защита от антропогенных факторов

Наименование объекта	Производственный участок установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [5]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [5]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [5]

При составлении мероприятий по обеспечению экологичности технологического процесса особое внимание следует уделить селективному сбору мусора, которое не требует значительных капитальных вложений, но существенно снижает негативное действие на окружающую среду. Помимо этого, селективный сбор мусора повышает культуру производства, и положительно сказывается на качестве работ и условиях труда персонала. Также возможно снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

Выводы по экологическому разделу

В экологическом разделе выпускной квалификационной работы необходимо показать возможность реализации предлагаемых в исполнительском разделе решений с точки зрения обеспечения безопасности труда и экологической безопасности. По результатам анализа проектного технологического процесса проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникновение которых происходит на рассматриваемом производственном участке. Установлено, что нейтрализация негативных производственных факторов обеспечивается применением стандартных технических средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия. Для защиты работников не требуется разработки специальных средств помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений. Также был затронут вопрос обеспечения пожарной безопасности производственного участка, идентифицированы риски, возникающие в ходе пожара, предложены меры по обеспечению пожарной безопасности и тушению возникающих пожаров. Помимо этого предложен ряд мероприятий по соблюдению экологической ответственности участников технологического процесса и снижению антропогенного действия на окружающую среду. Негативное действие проектного технологического процесса на окружающую среду в должной мере может быть нейтрализовано с применением стандартных средств и методик.

4 Экономическая эффективность предлагаемых решений

4.1 Вводные данные для экономического анализа

В настоящей выпускной квалификационной работе описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности сварки при выполнении ремонта кузова автомобиля. При выполнении аналитического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные и предварительный анализ известных решений, на основании критического анализа известных способов сварки для построения проектной технологии обоснован выбор точечной плазменной сварки, выполнена постановка задач. В ходе работы над исполнительским разделом сформулированы решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа сварки за счёт решений, предложенных отечественными исследователями-сварщиками. Анализ возможности реализации предлагаемых решений с соблюдением современных требований по технике безопасности, проведения противопожарных мероприятий и обеспечения экологичности производственного участка выполнены в третьем разделе. Настоящий раздел предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на ремонтном предприятии, для чего необходимо провести сравнительный анализ экономических показателей вариантов. Количественные показатели (исходные данные), которые будут использованы в ходе выполнения экономических расчётов, представлены в таблице 9. Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 10. На основании представленных данных, показателей базовой и проектной технологии, предстоит оценить величину технологической, цеховой и заводской себестоимости в рассматриваемых вариантах, объём капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта [12].

Таблица 9 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	400 тыс.	1500 тыс.
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	40	30
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,85	0,85
Площадь под оборудование	S	m^2	20	20
Разряд работников	P	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$C_ч$	Р/час	250	250
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(P/m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей» [12]	$C_{пл}$	P/m^2	30000	30000

Таблица 10 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

Показатель	Обозн.	Единицы измерения	Значение
«Коэффициент доплат к осн. заработной плате	$K_{осн}$	%	12
Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{доп}$	-	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,03
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{тз}$	%	5
Цена электрической энергии для предприятия	$C_{ээ}$	Р/ кВт	3,2
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3 5
Норма амортизации площади	$H_{а.пл.}$	%	5
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5
Коэффициент эффективности капит. вложений	E_n	-	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5
Коэффициент заводских расходов» [11]	$K_{зав}$	-	1,15

В ходе внедрения в производство предлагаемых результатов по сравнению с базовым вариантом, происходит замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Описываемые в исполнительском разделе решения обеспечивают повышение качества и производительности, что даже в условиях применения оборудования большей стоимости должно обеспечить получение экономического эффекта, значение которого будет рассчитано в ходе выполнения настоящего раздела.

4.2 Фонд времени работы оборудования

При расчете параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования F_3 . Этот параметр измеряется в часах и пропорционален количеству смен $K_{см}$ в одном рабочем дне, которое в зависимости от особенностей производства может составлять $K_{см}=1$ или $K_{см}=2$.

Также на величину F_3 оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году D_p , которое в настоящий момент принимается равным $D_p=277$. Количество предпраздничных рабочих дней составляет $D_{п}=7$ дней, в эти дни продолжительность рабочей смены уменьшается на $T_{п}=1$ час. Во всех остальных случаях продолжительность рабочей смены $T_{см}=8$ часов. Таким образом, F_n будет с учётом приведенной информации и исходных значений рассчитываться как

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени F_3 отличается от номинального F_n в меньшую сторону, что объясняется возникновением в процессе работы производственного участка внештатных ситуаций и случаев нарушения трудовой дисциплины. Это характеризуется коэффициентом потерь рабочего времени, который для рассматриваемой технологии составляет $B = 7 \%$. С учётом этого

$$F_3 = F_n(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Таким образом, расчёты проводим с величиной $F_3 = 2054$ часов. Эта же величина будет использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии.

4.3 Штучное время и годовая программа

Для расчётного определения экономических показателей, характеризующих анализируемый технологический процесс, следует задаться штучным временем $t_{шт}$, которое затрачивается на изготовление или ремонт одного изделия. Для этого необходимо провести анализ особенностей выполнения операций в обоих рассматриваемых вариантах построения технологии, которые могут быть взяты из первого раздела (для базового варианта) и второго раздела (для проектного варианта). При рассмотрении вариантов за базовый принята дуговая механизированная сварка с последующей зачисткой. Главной составляющей штучного времени служит машинное время $t_{маш}$, значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется $t_{маш}=6,6$ часов, проектный вариант характеризуется $t_{маш}=2,5$ часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время $t_{всп}$ в размере 10 % от $t_{маш}$. В случае реализации базовой технологии $t_{всп}=0,66$ часов, в случае реализации проектной технологии $t_{всп}=0,25$ часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на обслуживание рабочего места, что характеризуется переменной $t_{обсл}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, принимается $t_{обсл}=0,33$ часов. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать $t_{обсл}=0,12$ часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на личный отдых работника, что характеризуется переменной $t_{отд}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, следует принимать $t_{отд}=0,33$ часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают $t_{отд}=0,12$ часа. Приблизительно 1% от $t_{маш}$ затрачивается работником на изучение и сдачу производственного задания, что характеризуется значением подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$. В зависимости от реализуемого на производственном участке варианта

технологии $t_{пз}=0,07$ часа для базового варианта и $t_{пз}=0,03$ часа для проектного варианта.

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

На основании исходных данных последующие расчёты проводим при $t_{шт}=8$ часов при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени $t_{шт}=3$ часа.

Годовая программа $\Pi_{г}$ определяет количество изделий, которое предстоит выпустить в течение одного календарного года и определяет значения коэффициентов загрузки оборудования, который в дальнейшем будут использованы для расчётного определения экономических показателей базового и проектного вариантов. Величина годовой программы $\Pi_{г}$ определяется с учётом ранее полученных значений $F_{з}$ и $t_{шт}$

$$\Pi_{г} = F_{з} / t_{шт} . \quad (4)$$

Таким образом, для базового варианта $\Pi_{г}= 2054/8 = 256$ кузовных ремонтов средней сложности, для проектного варианта $\Pi_{г}=2054/3=668$ кузовных ремонтов средней сложности. Для обеспечения действительной потребности производства необходимо значение годовой программы $\Pi_{г}=200$ кузовных ремонтов средней сложности, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса. На рисунке 33 представлены примеры таких ремонтов.



Рисунок 33 - Примеры ремонта кузова автомобиля рассматриваемого уровня сложности

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение $n_{\text{расч}}$, для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы Π_{Γ} , эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ и штучного времени $t_{\text{шт}}$. Также в расчётах применяется коэффициент выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Для базового варианта $n_{\text{расч.}} = 8 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,76$ Для проектного варианта $n_{\text{расч.}} = 3 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,28$. Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования $n=1$, поэтому определим коэффициент загрузки

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

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет $K_{\text{з}}=0,76/1=0,76$. При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет $K_{\text{з}}=0,28/1=0,28$.

4.4 Расчёт заводской себестоимости

Эффективность внедряемых в производство решений оценивается по изменению экономических показателей, в большинство из которых в качестве расчётного компонента входит заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$, определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость $C_{\text{тех}}$. Величина технологической себестоимости может быть рассчитана с учётом особенностей выполнения операций, входящих в рассматриваемые варианты технологического процесса.

Одной из составляющих технологической себестоимости является стоимость материалов M , для расчёта которой применяется упрощенная формула, в которую помимо цены C_m входят нормы расхода N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого следует принимать из таблицы исходных данных принимается значение $K_{tz}=1,05$:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{tz} . \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере $M=400 \cdot 5 \cdot 1,05=2100$ рублей. В проектном технологическом процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют $M=(200 \cdot 4 + 7,5 \cdot 300) \cdot 1,05 = 3203$ рублей.

Расходы предприятия на оплату труда характеризуются фондом заработной платы ФЗП, составе которого учитываются два слагаемых, размер которых расчётным путём определяется исходя из штучного времени $t_{шт}$ и часовой тарифной ставки. Первое слагаемое - основная заработная плата $Z_{осн}$, второе слагаемое - дополнительная заработная плата $Z_{доп}$. Из таблицы исходных данных принимается значения коэффициентов доплат K_d и дополнительных доплат $K_{доп}$: $K_d=1,88$ и $K_{доп}=0,12$. Размер основной заработной платы $Z_{осн}$ используется в дальнейшем для определения цеховых и заводских затрат, с учётом исходных данных получаем

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

Реализация базового процесса предусматривает размер основной заработной платы $Z_{осн}=8 \cdot 250 \cdot 1,88 = 3760$ рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит $Z_{осн}=3 \cdot 250 \cdot 1,88 = 1410$ рублей. Уменьшение размеров заработной основной платы, которое наблюдается при внедрении проектной технологии не сказывается отрицательным образом на доходах работников, так как

проектная технология позволяет значительно повысить производительность труда и уменьшить трудоемкость, в результате чего, за единицу времени с меньшими затратами удастся произвести больше продукции, что позволяет в пересчете на календарные дни доходы работников увеличить за счёт выполнения дополнительных работ и повышения экономических показателей производства.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$, который рассчитывается как

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

Для базовой технологии основная заработная плата $Z_{\text{осн}}=3760$ рублей, поэтому размер дополнительной заработной платы с учётом коэффициента $K_{\text{доп}}$ составляет $Z_{\text{доп}}=3760 \cdot 12/100 = 451$ рублей. Для проектной технологии $Z_{\text{осн}}=1410$ рублей, поэтому с учётом коэффициента $K_{\text{доп}}$ размер дополнительной заработной платы составляет $Z_{\text{доп}}=1410 \cdot 12/100 = 169$ рублей.

Суммирование основной заработной платы и дополнительной заработной платы, если на рассматриваемом производственном участке реализуется базовый вариант ФЗП= $3760 + 451= 4211$ рублей. В случае, если на рассматриваемом производственном участке реализуется проектный вариант ФЗП= $1410 + 169 = 1579$ рублей.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяются исходя из значения фонда заработной платы ФЗП и принимаемого из таблицы исходных данных коэффициента отчислений $K_{\text{сн}}$

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (10)$$

При реализации на рассматриваемом производственном участке базовой технологии получаем $O_{\text{сн}}=4211 \cdot 34/100 = 1432$ рублей. При реализации на рассматриваемом производственном участке проектной технологии получаем $O_{\text{сн}}=1579 \cdot 34/100 = 537$ рублей.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений $A_{об}$ понадобится значение стоимости оборудования $Ц_{об}$ из таблицы исходных данных. При реализации на производственном участке базового варианта $Ц_{об}=400000$ рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта $Ц_{об}=1500000$ рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время $t_{маш}$, которое для базового и проектного варианта принимается соответственно как $t_{маш}=8$ часов и $t_{маш}=3$ часа. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_3=2054$ часа. Значение нормы амортизации H_a принимается из таблицы исходных данных $H_a=21,5$ %. Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100} \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных $A_{об}=400000 \cdot 21,5 \cdot 8 / 2054 / 100 = 335$ рублей, при реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления $A_{об}=1500000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 471$ рублей.

Ещё одной статьёй расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию $P_{э}$. Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии $Ц_{эл}$, которая из таблицы исходных данных принимается $Ц_{эл}=3,2$ руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,85 для базового варианта и КПД=0,85 для проектного варианта. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет $M_{уст}=40$ кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет $M_{уст}=30$ кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{эл} / \text{КПД} \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии $P_{эз} = 50 \cdot 8 \cdot 3,2 / 0,7 = 1380$ рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере $P_{эз} = 30 \cdot 3 \cdot 3,02 / 0,85 = 321$ рубля. Как видно из представленных расчётов, при реализации проектной технологии ожидается снижение расходов на электрическую энергию, это может быть объяснено тем, что применяемый модернизированный сварочный процесс имеет больший коэффициент полезного действия по сравнению с применяемым в базовом варианте.

С учетом рассчитанных значений определяем затраты на оборудование $Z_{об}$ при реализации рассматриваемых вариантов построения технологии

$$Z_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (13)$$

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение $Z_{об} = 335 + 1380 = 1715$ рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение $Z_{об} = 471 + 321 = 792$ рубля.

На основании рассчитанных величин составляющих технологической себестоимости может быть определена сама технологическая себестоимость суммированием

$$C_{тех} = M + ФЗП + Осс + Z_{об}. \quad (14)$$

Реализация базовой технологии характеризуется технологической стоимостью $C_{тех} = 2100 + 4211 + 1432 + 1715 = 9458$ рублей. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью $C_{тех} = 3203 + 1579 + 537 + 792 = 6111$ рублей.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 34.

Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин по рассматриваемым вариантам построения технологического процесса. Следует ожидать значительного

уменьшения фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды, что должно положительно сказаться на экономических показателях производства при внедрении предлагаемых технологических решений.

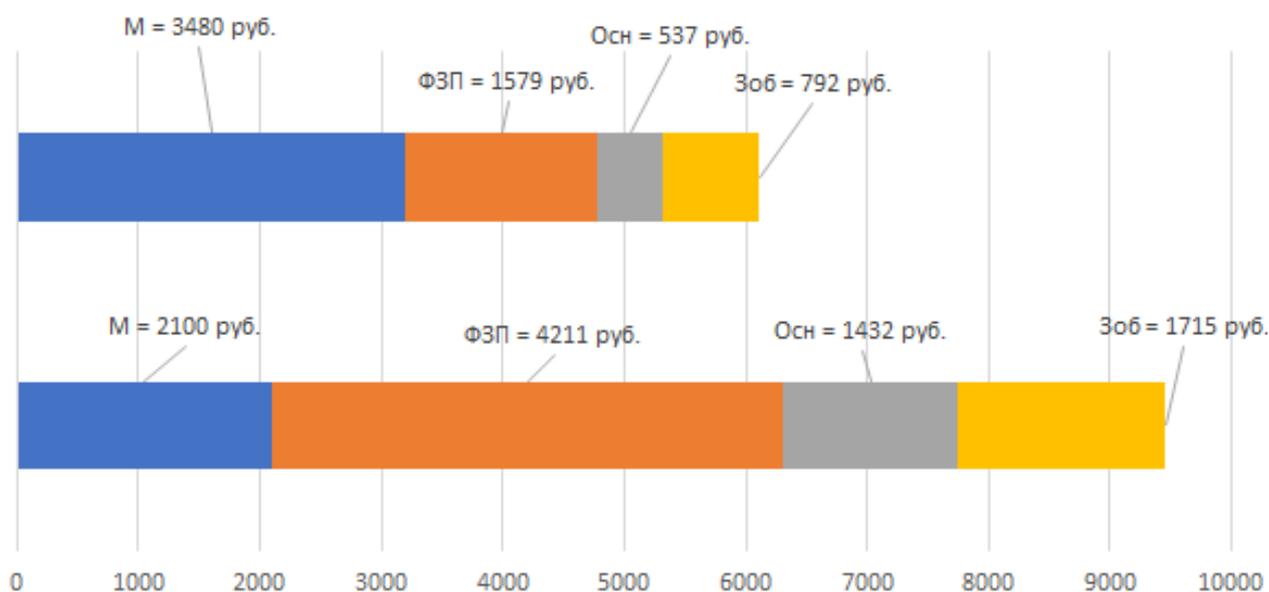


Рисунок 34 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

Для того, чтобы рассчитать цеховую себестоимость $C_{\text{цех}}$, в качестве исходных данных в формулу подставляются значения технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, которое увеличивается с учётом цеховых расходов, определяемых через основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и коэффициент цеховых расходов $K_{\text{цех}}$. Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента цеховых расходов принимается из таблицы исходных данных

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

С учетом введенных данных для базового варианта получаем $C_{\text{цех}} = 9458 + 1,5 \cdot 3760 = 9458 + 5640 = 15098$ рубля. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит $C_{\text{цех}} = 6111 + 1,5 \cdot 1410 = 6111 + 2115 = 8226$ рубля.

Для того, чтобы рассчитать заводскую себестоимость $C_{зав}$, в качестве исходных данных в формулу подставляются значения цеховой себестоимости $C_{цех}$, которое увеличивается с учётом заводских расходов, определяемых через основную заработную плату $Z_{осн}$ и коэффициент заводских расходов $K_{зав}$. Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента заводских расходов принимается из таблицы исходных данных

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

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит $C_{зав} = 15098 + 1,15 \cdot 3760 = 15098 + 4324 = 19422$ рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит $C_{цех} = 8226 + 1,15 \cdot 1410 = 8226 + 1622 = 9848$ рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 11 данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 35, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 11 – Расчёт заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	2100	3203
2. Фонд заработной платы	ФЗП	4211	1579
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	1432	537
4. Затраты на оборудование	Зоб	1715	792
5. Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	9458	6111
6. Цеховые расходы	$P_{цех}$	5640	2115
7. Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	15098	8226
8. Заводские расходы	$P_{зав}$	4324	1622
9. Заводская себестоимость» [11]	$C_{зав}$	19422	9848

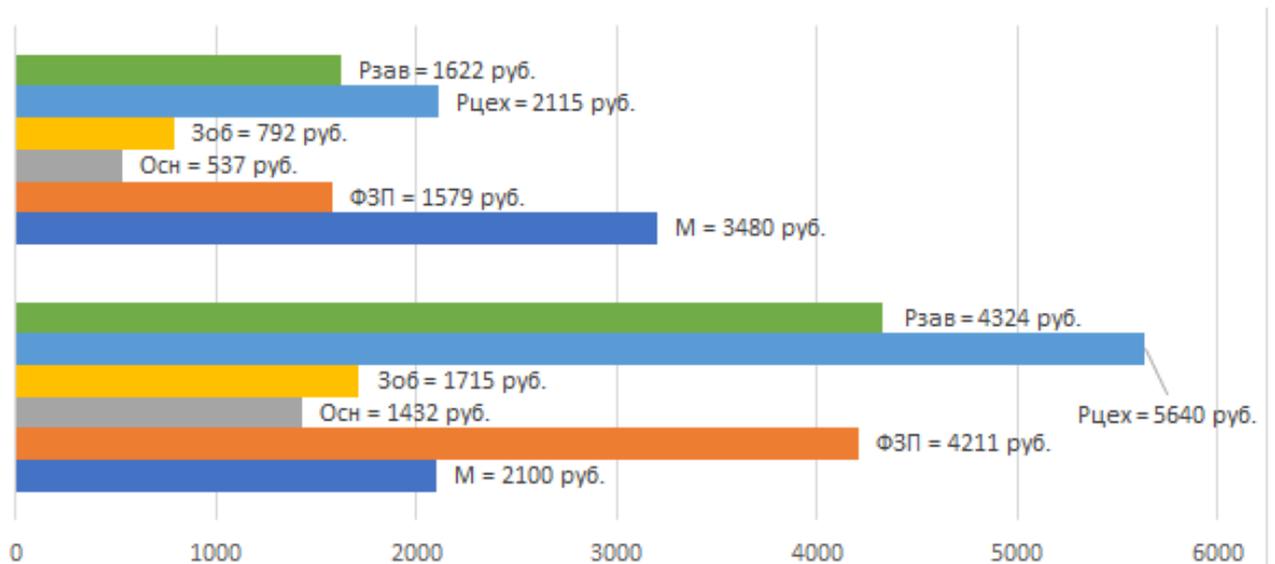


Рисунок 35 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

Таким образом, проведенный графический анализ позволяет заключить, что применение предлагаемых в настоящей работе нововведений изменяет состав технологической себестоимости. Значительное количество статей расходов в проектной технологии меньше, чем аналогичные статьи расходов в базовой технологии. Также следует отметить уменьшение размеров основной заработной платы, что положительно сказалось на размерах цеховых и заводских расходов, что, в конечном итоге, определило уменьшение заводской стоимости. Для окончательного расчёта показателей повышения экономической эффективности необходимо определиться со значением капитальных затрат, которые будут рассчитаны ниже.

4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы $T_{сл}=3$ лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет $C_{перв}=400000$ рублей. С учётом

нормы амортизации H_a стоимость оборудования по базовому варианту может быть вычислена как

$$Ц_{об.б.} = Ц_{перв.} - (Ц_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет $Ц_{об.б.} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000$ рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования K_z , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту

$$K_{общ. б.} = Ц_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 1 \cdot 28400 \cdot 0,76 = 21584 \text{ рублей.} \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование $K_{об.пр}$ вычисляются с использованием ранее определенного коэффициента загрузки оборудования $K_z = 0,1$, принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{tz} = 1,05$ и цены оборудования $Ц_{об.пр.} = 1500000$ рублей:

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{зп.} \quad (19)$$

Получаем $K_{об.пр.} = 1500000 \cdot 1,05 \cdot 0,28 = 441000$ рублей.

При вычислении расходов $P_{дем}$ на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой технологии, необходимо учесть цену оборудования $Ц_{об.б.}$ и коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

При вычислении расходов $P_{мон}$ на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной

технологии, необходимо учесть цену оборудования $C_{об.пр}$ и коэффициента расходов на монтаж K_M , его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_M = 1500000 \cdot 0,05 = 75000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

С учётом полученных результатов расчета сопутствующие капитальные затраты $K_{\text{соп}}$ составляют

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 20000 + 75000 = 95000. \quad (22)$$

Капитальные затраты $K_{\text{общ.пр.}}$ при организации производственного участка для выполнения проектной технологии могут быть рассчитаны как сумма капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр}}$ и сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 441000 + 95000 = 536000 \text{ рублей} \quad (23)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ определяется как разность ранее рассчитанных капитальных затрат по рассматриваемым вариантам

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 536000 - 21584 = 514416 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Исходными данными для расчёта удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ служат дополнительные капитальные затраты $K_{\text{доп}}$ и годовая программа $\Pi_{\text{г}}$, а самое значение $K_{\text{уд}}$ определяется как отношение этих величин

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{г}}. \quad (25)$$

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 21584 / 200 = 108$ рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 536000 / 200 = 2680$ рублей.

4.6 Экономические показатели эффективности

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как «снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$, повышение производительности труда P_T , снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, условно годовую экономию $\Delta_{уг}$, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{ок}$ и годовой экономический эффект Δ_r » [11].

При определении снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$ в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени $t_{шт}$ в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается $t_{шт б}=8$ часов и $t_{шт пр}=3$ часа для реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (8-3) \cdot 100 \% / 8 = 63 \% . \quad (26)$$

При определении повышения производительности труда P_T , которое достигается на рассматриваемом производственном участке в случае внедрения предлагаемых решений используется рассчитанное ранее значение снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 63) / (100 - 63) = 233 \% . \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ необходимо в качестве исходных данных использовать рассчитанные ранее технологические себестоимости для случая реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии. В случае выполнения операция согласно базового варианта технологии принимается

$C_{\text{тех.б}}=5829$ рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается $C_{\text{тех.пр}}= 4659$ рубля

$$\Delta C_{\text{тех}}=(C_{\text{тех.б.}}- C_{\text{тех.пр.}})\cdot 100\%/C_{\text{тех.б.}} = (9458- 6111)\cdot 100\%/9458 = 35 \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу $\Pi_{\Gamma}=200$. Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается $C_{\text{зав.б}}=19422$ рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается $C_{\text{зав.пр}}=9848$ рубля

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}})\cdot \Pi_{\Gamma} = (19422 - 9848)\cdot 200 = 1914800 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Для расчётного определения срока окупаемости $T_{\text{ок}}$ дополнительных капитальных вложений в качестве исходных данных следует принять ранее рассчитанные условно-годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ и дополнительные капитальные вложения $K_{\text{доп}}$

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 514416 / 1914800 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту \mathcal{E}_{Γ} . Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$. Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}}$

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}}\cdot K_{\text{доп}} = 1914800 - 0,33\cdot 514416 = 1745042 \text{ рубля.} \quad (31)$$

На основании проведенных расчётов следует констатировать, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений позволяет получить повышение всех рассматриваемых в разделе экономических показателей, что положительно характеризует ценность предложенных решений.

Так как при реализации проектной технологии наблюдается значительное повышение производительности, то рассматриваемый производственный участок и находящееся на нем оборудование может быть использовано для выполнения аналогичных работ, что, в конечном итоге, позволит ещё больше повысить экономические показатели производства и сохранить размер фонда заработной платы без увеличения нагрузки на работников предприятия.

Кроме того, за счёт повышения производительности и снижения коэффициента загрузки оборудования предприятие может получить новые заказы, увеличивая годовую программу. В этом случае следует ожидать кратного уменьшения удельных капитальных вложений, роста ожидаемой экономии и годового экономического эффекта. Также следует принимать во внимание, что снижение трудоемкости позволяет не только повысить качество работ, но и уделить большее внимание экологической компоненте.

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство предлагаемых решений. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на величину $\Delta t_{шт} = 63 \%$ и повышение производительности труда на величину $P_T = 233 \%$. Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить фонд заработной платы и коэффициент загрузки оборудования, что положительно сказывается на большинстве рассчитываемых показателей эффективности технологии. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет $\Delta C_{тех} = 35 \%$. Происходит уменьшение

величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости, условно-годовая экономия ожидается в размере $\mathcal{E}_{\text{ут}} = 1,91$ млн. рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере $K_{\text{доп}} = 0,514$ млн. рублей, срок окупаемости которых составляет 0,3 года. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере $\mathcal{E}_{\text{г}} = 1,745$ млн. рублей. Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений, так как возникает не только технологический, но и экономический эффект. Кроме того, следует принимать во внимание, что экономический эффект будет мультиплицирован при внедрении предлагаемых решений на других ремонтных предприятиях. Многократное повышение производительности труда позволяет рассматриваемому предприятию расширить область своих работ, принимая новые заказы, в том числе и с государственным финансированием, что позволяет получить дополнительно улучшить социальное обеспечение персонала предприятия и семей.

При оценке экономического эффекта следует принимать во внимание, что восстановление целостности кузова автомобиля позволяет избежать приобретения нового автомобиля. Это становится особенно важным в настоящие времена, когда существуют логистические проблемы по доставке новых автомобилей из-за рубежа, а сама стоимость автомобилей постоянно повышается. Таким образом, кроме экономического эффекта настоящая выпускная квалификационная работа позволяет получить социальный эффект, выражаемый в улучшении условий жизни значительного количества россиян.

Заключение

Выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности ремонтных предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по поддержанию работоспособности автомобилей, вагонов и техники. Восстановление целостности кузова автомобиля позволяет избежать приобретения нового автомобиля. Это становится особенно важным в настоящие времена, когда существуют логистические проблемы по доставке новых автомобилей из-за рубежа, а сама стоимость автомобилей постоянно повышается.

В ходе анализа базовой технологии и известных решений по теме обоснована возможность замены контактной точечной сварки и дуговой сварки на плазменную точечную сварку, которая обладает большей универсальностью и позволяет получать качественные соединения с хорошим внешним видом, соизмеримым с контактной точечной сваркой. Также плазменная сварка характеризуется большей энергетической эффективностью, что позволяет обеспечить построение ремонтного участка в условиях устаревших силовых сетей, так как установленная мощность оборудования при точечной плазменной сварке существенно ниже, чем при контактной точечной сварке и чем при дуговой сварке.

На основании вышеизложенного были сформулированы задачи для выполнения выпускной квалификационной работы.

На основании анализа типов схем питания плазменной сварки для построения технологического процесса предложено применить точечную плазменную сварку на обратной полярности. Преимуществом сварки на обратной полярности является возможность снижения требований по подготовке поверхности деталей перед сваркой, так как процесс катодной очистки позволяет получить качественное соединение даже при наличии загрязнений. Применение сварки на обратной полярности также позволяет повысить производительность процесса и обеспечивает стабильное качество

получаемых соединений. Также при такой схеме питания упрощается управление вложением тепла в основной металл, что улучшает внешний вид изделия после ремонта.

Для того, чтобы обеспечить высокую стойкость вольфрамового электрода при сварке на постоянном токе обратной полярности предлагается применить комбинированный способ точечной сварки, который обеспечивается конструкцией плазматрона согласно изобретению российских исследователей-сварщиков. Предлагаемая комбинированная сварка позволяет обеспечить стабильное зажигание и горение сжатой дуги. Применение плавящегося электрода позволяет получить два положительных эффекта. Первым эффектом является устранение проблемы износа вольфрамового электрода при сварке на постоянном токе обратной полярности. Вторым положительным эффектом является возможность качественной заварки кратера, которые при плазменной точечной сварке неплавящимся электродом неизбежно возникает по причине нехватки металла для полного заполнения сварочной ванны. Таким образом, полученное сварное соединение будет обладать не только высокой прочностью, но и эстетичным видом, а при проведении последующей обработки поверхности становится возможным получение безследной сварки, что особенно важно при ремонте части кузова с лицевыми поверхностями. Предлагаемая технология позволяет обеспечить прочность соединения, соизмеримое с дуговыми способами сварка, а внешний вид соединения после обработки поверхности сварной точки аналогичен соединению, выполненному контактной точечной сваркой.

При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Применение на производственном участке предлагаемых решений обеспечивает уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере 1,745 млн. рублей.

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. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
3. Гаврилов В. Г., Помазков М. В., Караваяева 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. Гирфанов Н. Э., Галимова Н. П. Сравнение лазерной и плазменной сварки по экономическим показателям // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 1. С. 67-70.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Жаров С. П. Нормирование работ кузовного ремонта // Вестник КГУ. 2011. № 1. С. 20-22.
7. 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.
8. Коваливнич В. Д., Аносова А. И., Голубев Д. Н. Обзор и анализ материалов кузовов автомобилей // Научный журнал молодых ученых. 2024. № 4. С. 24-28
9. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335 с.
10. Краснопевцева И. В. Оценка технико-экономических показателей различных способов соединения деталей кузова автомобиля // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2016. № 3. С. 9-15.

11. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
14. Ленчик И.В., Родионова И.Н., Горохов А.А. Проблемы и перспективы развития сварочного производства в России // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 1. С. 134–138.
15. Маковецкая О.К. Современный рынок сварочной техники Северной Америки // Автоматическая сварка. 2012. № 12. С. 48–50.
16. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития европейского рынка технологий соединения // Автоматическая сварка. 2015. № 8. С. 55–59.
17. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
18. Меретуков М. А. Организация системы кузовного ремонта на СТО в современных условиях // Вестник Адыгейского государственного университета. 2012. № 7. С. 32-39.
19. Мещеряков В. М., Косенко Е. Е., Косенко В. В. Обзор способов сварки элементов кузовов автомобилей // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. С. 21-33.
20. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
21. Нургалин В. Д., Валиева Л. М., Юсупов М. И. Оптимизация процессов кузовного ремонта на автомобильном сервисе в соответствии с современными требованиями // Вестник науки. 2024. № 6. С. 1343-1350.

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

23. Патент № 2495735 РФ. МПК В23К10/02 Способ плазменной сварки плавящимся электродом / Щицын Ю. Д., Щицын В. Ю.; Бюл. № 29. 2011.

24. Рухлин Г.В. Анализ конкурентной ситуации на рынке сварочного оборудования и материалов стран Азиатско-Тихоокеанского региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2010. № 6. С. 120–127.

25. 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.

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

27. Синельников А. Ф., Штоль Ю. Л., Скрипников С. А. Кузова легковых автомобилей: обслуживание и ремонт. М. :Транспорт, 1995. 345 с.

28. Стражнов А. Д., Белинин Д. С. Технологи сварочных работ при восстановлении корпусов автомобилей // Вестник науки. 2022. № 12. С. 386-392.

29. Стрельников И. В.. Коновалов А. В. Определение оптимальной геометрии вольфрамового электрода при точечной сварке сжатой дугой // Известия высших учебных заведений. 2011. № 6. С. 53-57.

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

31. Стрельников И. В. Разработка технологии точечной сварки сжатой дугой боковой стены пассажирского вагона из коррозионно-стойкой стали :

диссертация на соискание уч. степени кандидата техн. наук. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012.

32. 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.

33. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А. Влияние полярности на тепловые нагрузки плазмотрона // Сварочное производство. 1997. № 3. С. 23–25.

34. Щицын В. Ю., Язовских В. М. Влияние полярности на тепловложение в сопло плазмотрона // Сварочное производство. 2002. № 1. С. 17–19.