

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей
в машиностроении»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология и оборудование восстановления поршня судового двигателя

Студент	<u>С.А. Манжула</u> (И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	
Консультанты	<u>к.э.н., доцент О.М. Сярдова</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	
	<u>к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	

Аннотация

Одним из возможных способов восстановления поршней двигателей может считаться дуговая наплавка, применение которой в условиях производства в большинстве случаев не будет встречать значительных трудностей. Однако применительно к судовым поршням дуговые способы встречают множество проблем, связанных с особенностями выполнения основных и вспомогательных операций.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности ремонтной сварки и наплавки поршней судовых двигателей.

В работе описаны результаты литературного исследования в направлении повышения эффективности ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов, на основании которого проведено обоснование выбора способа сварки и повышена эффективность ремонтной сварки. Информация из литературных источников и знания, полученные в ходе обучения на кафедре сварки, позволили дать критическую оценку рассматриваемым способам сварки и выполнить постановку задач на выполнение выпускной квалификационной работы.

Построение проектной технологии ремонтной сварки предлагается проводить с использованием сварки сжатой дугой, для реализации которой планируется использовать предложенный российскими исследователями плазматрон, применение которого позволяет повысить эффективность процесса ремонтной сварки с применением механизма катодной очистки.

Составлена карта технологического процесса с перечнем операций и заданными параметрами.

Предлагаемые решения позволяют обеспечить годовой экономический эффект порядка 0,7 миллиона рублей.

Содержание

Введение	5
.	
1 Современное состояние ремонтной наплавки поршней судовых двигателей.	8
1.1 Описание изделие и дефектов на нем.	8
1.2 Сведения о материале для изготовления поршня судового двигателя.	12
1.3 Особенности технологии ремонтной сварки наплавки поршня судового двигателя.	14
1.4 Поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплав.	19
1.5 Формулировка задача выпускной квалификационной работы	21
2 Проектная технология восстановительной сварки и наплавки поршней судовых двигателей.	22
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной сварки и наплавки поршней судовых двигателей.	22
2.2 Повышение эффективности плазменной сварки при исправлении дефектов на деталях машин из алюминиевых сплавов .	30
2.3 Операции проектного процесса ремонтной сварки.	37
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. . . .	41
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. . .	41
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	42
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	44
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	45
3.5 Экологическая безопасность.	47
4 Экономическое обоснование проектных решений.	50

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	50
4.2 Фонд времени оборудования.	52
4.3 Штучное время и годовая программа.	53
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии	55
4.5 Расчёт капитальных затрат.	61
4.6 Расчёт экономических показателей.	63
Заключение	68
Список используемой литературы и используемых источников.	70

Введение

Детали судовых двигателей работают в условиях теплового и силового нагружения, при этом в ходе эксплуатации подвергаются интенсивному изнашиванию. Перегруз элементов двигателя по теплу и механическому воздействию становится причиной их разрушения. При этом, в основном, страдает рабочая поверхность детали, а в тело детали разрушение не распространяется. Иными словами, выход детали из строя сопровождается потерей незначительного процента его массы. Исходя из требований повышения энергоэффективности и металлоэффективности производственных процессов, необходимо решить проблему восстановления деталей судовых двигателей, которая имеет давнюю историю и попытки решения которой предпринимались многими исследователями [5], [34], [37]..

При этом следует принимать во внимание, что долговечность элементов судового двигателя определяет его жизненный цикл, а в течение эксплуатации приходится проводить ремонт изнашиваемых элементов до 10 раз за все время использования двигателя [1], [16]. При этом применение различных способов восстановления элементов двигателя не позволяет полностью решить проблему повышения надёжности и снижения количества циклов ремонта за период эксплуатации. Главным образом, эта проблема касается поверхностей сопряжения на поршнях двигателей, при этом около 40 % случая ремонта определяет межремонтный период двигателя.

Одним из возможных способов восстановления поршней двигателей может считаться дуговая наплавка, применение которой в условиях производства в большинстве случаев не будет встречать значительных трудностей [6]. Однако применительно к судовым поршням дуговые способы встречают множество проблем, связанных с особенностями выполнения основных и вспомогательных операций. В качестве такой проблемы можно назвать необходимость проведения предварительной разделки кромок, что существенно повышает трудоёмкость при подготовке тела поршня. Также в

качестве затруднения при применении дуговой наплавки можно назвать интенсивное разбрызгивание электродного металла, которое особенно сильно проявляется при переходе на форсированные режимы наплавки. Ещё одним затруднением является сильная пористость наплавленного металла. Кроме того, возникают трудности металлургического характера – наплавленный металл подвергается перегреву и имеет крупнозернистую структуру.

Восстановительная наплавка поршней может выполняться с применением прогрессивных методов наплавки, таких, как лазерная наплавка, электролучевая наплавка и плазменная наплавка [4], [38], [41], [43], [45]. Кроме того, возможно применение комбинированных источников тепла [6], которое позволяет повысить производительность и качество наплавки. Кроме того, совместное горение дуг позволяет интенсифицировать перемешивание металла сварочной ванны и снизить электромагнитное взаимодействие, также наблюдается улучшенное удаление растворённых газов из расплавленного металла, что позволяет повысить свойства наплавленного металла.

Поршень судового двигателя является ответственной деталью, работа которой проходит в сложных условиях нагружения. Поршни из алюминиевых сплавов по сравнению с поршнями из чугунов получили значительно большее распространение, что объясняется рядом преимуществ. Первым преимуществом является значительно меньшая масса поршня, которая позволяет повысить характеристики двигателя и его экономичность. Вторым преимуществом является высокая теплопроводность алюминиевого поршня, которая позволяет увеличить нагрузку на него и снизить опасность перегрева двигателя.

В результате многократного возвратно-поступательного движения происходит интенсивный износ поверхности поршня и гильзы. Срок службы двигателя внутреннего сгорания в значительной мере определяется состоянием его цилиндро-поршневой группы. Также состояние цилиндров существенно влияет на расход масла и динамические характеристики двигателя. В процессе ремонта цилиндро-поршневой группы выполняют

замену компрессионных и маслосъемных колец, расточку блоков цилиндра, также выполняют замену шатунов и поршней.

Как показывает практика ремонта деталей машин, приблизительно 75 % всех деталей, которые были отбракованы в ходе капитального ремонта оборудования, могут быть возвращены в работу после незначительного ремонта [14]. Таким образом, выполнение запроса современного производства на повышение энергоэффективности и материалоэффективности возможно за счёт применения технологий реновации, позволяющих вновь ввести в эксплуатацию отбракованные ранее детали. Проведение ремонтной наплавки существенно более экономичный процесс, чем изготовление новой детали. Также следует принимать во внимание логистические издержки, с которыми следует смириться при заказе и доставке новой детали. Поэтому для крупного предприятия гораздо выгоднее организовать участок ремонта деталей машин собственными силами. Кроме того, загруженность этого участка будет обеспечиваться аналогичными заказами соседних предприятий. В связи с этим, следует признать приоритетность направления реновации деталей машин, которое позволит повысить эффективность отечественного производства в условиях современного политического и экономического состояния рынка [15], [22], [32].

Так как поршни двигателя являются одной из самых востребованных запасных его частей, то следует признать актуальность темы предстоящей выпускной квалификационной работы. Также следует признать актуальным работы, направленные на повышение эффективности восстановительной наплавки поршней судовых двигателей, которое будет достигнуто за счёт применения преимущественно отечественных разработок, что позволит повысить импортонезависимость [17], [24], [25].

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности ремонтной сварки и наплавки поршней судовых двигателей.

1 Современное состояние ремонтной наплавки поршней судовых двигателей

1.1 Описание изделие и дефектов на нем

Работа деталей двигателя внутреннего сгорания характеризуется условиями интенсивного изнашивания под действием нагретой до высокой температуры агрессивной смеси газов, содержащей продукты сгорания топлива. Также на элементы двигателя оказывают воздействие механические силы, приводящие к истиранию. Одним из наиболее нагруженных элементов двигателя является поршень, который помимо описанных воздействий испытывает постоянный перегрев из-за того, что выполняет роль отвода тепла от головки двигателя. После поступления партии изношенных поршней на участок для восстановления выполняют нумерацию каждого поршня. Необходимо следить за правильностью оформления всей сопроводительной документации. Целесообразность проведения ремонтных работ определяется на ремонтном участке в ходе дефектации.

Ниже представлены характерные причины отказов поршней дизельного двигателя. «Первой причиной является эрозия на днище и жаровом поясе поршня, которая представлена на рисунке 1-а. Причиной появления такого дефекта является низкое качество топлива и присутствие в нем примесей бензина. Кроме того, такие дефекты могут образовываться по причине попадания в камеру сгорания масла и при неправильно установленном угле опережения зажигания. Также причинами дефекта могут стать перегрев двигателя, нарушение герметичности выпускных клапанов и нагар в камере сгорания» [1]. Второй причиной отказа поршня двигателя является прихват от перегрева на головке поршня, который представлен на рисунке 1-б. «Причиной такого дефекта является неправильная обкатка двигателя и некорректная работа системы охлаждения двигателя. Также возможной причиной является перегрев в камере сгорания по причине неисправности

системы питания» [1]. Третьим распространённым дефектом поршня двигателя является эрозия на его днище, которая представлена на рисунке 1-в. Причиной такого дефекта является неисправность форсунки и поломка нагнетательного клапана в топливном насосе. Четвертым дефектом становится разрушение перемычек между канавками поршневых колец, которое представлено на рисунке 1-г. «Причиной появления такого дефекта является неисправность форсунки и недостаточная компрессия в цилиндре. Также дефект может возникать по причине попадания воды или топлива в цилиндр при неработающем двигателе, что приводит к возникновению гидроудара» [1]. Пятым дефектом является износ поверхностей, представленный на рисунке 1-д. «Такой дефект образуется по причине увеличенной подачи топлива в камеру сгорания и недостаточной компрессии. Также причиной может стать неправильный выбор зазора между поршнем и головкой. Шестым дефектом являются трещины на днище вокруг камеры, которые представлены на рисунке 1-е. Причиной их появления является неисправность моторного тормоза, перегрев двигателя и неполадки в системе питания двигателя» [1].

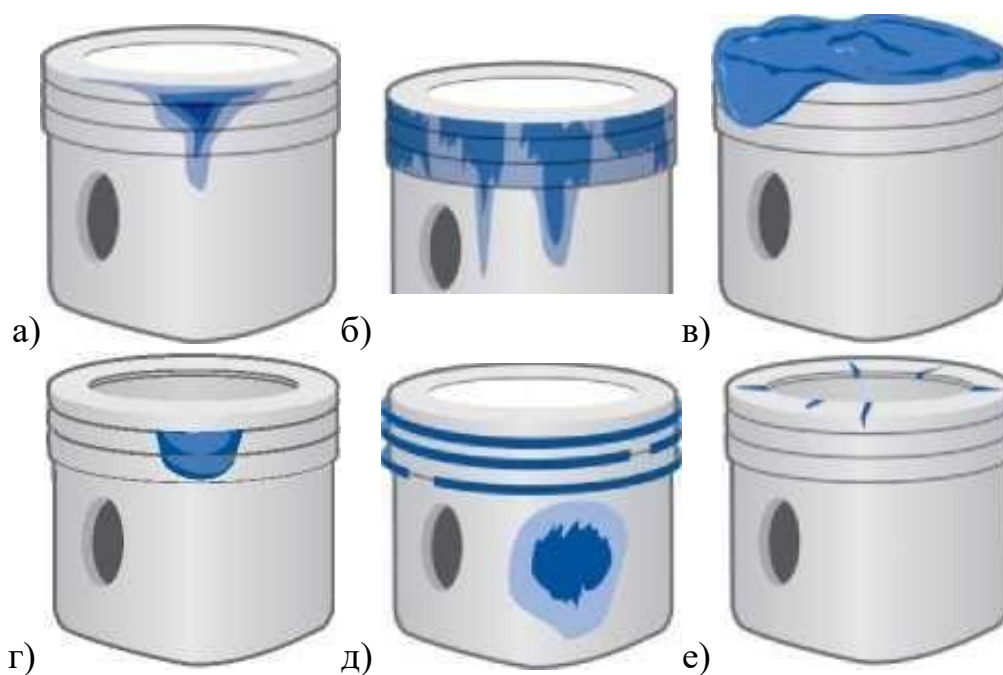


Рисунок 1 – Характерные повреждения поршня судового двигателя

Проводить восстановительные работы следует на поверхностях, доступных для разделки и наплавки. При этом должна обеспечиваться последующая их обработка и контроль качества. Типовой технологический процесс представлен на рисунке 2. На рисунке 3 представлен пример поршня.

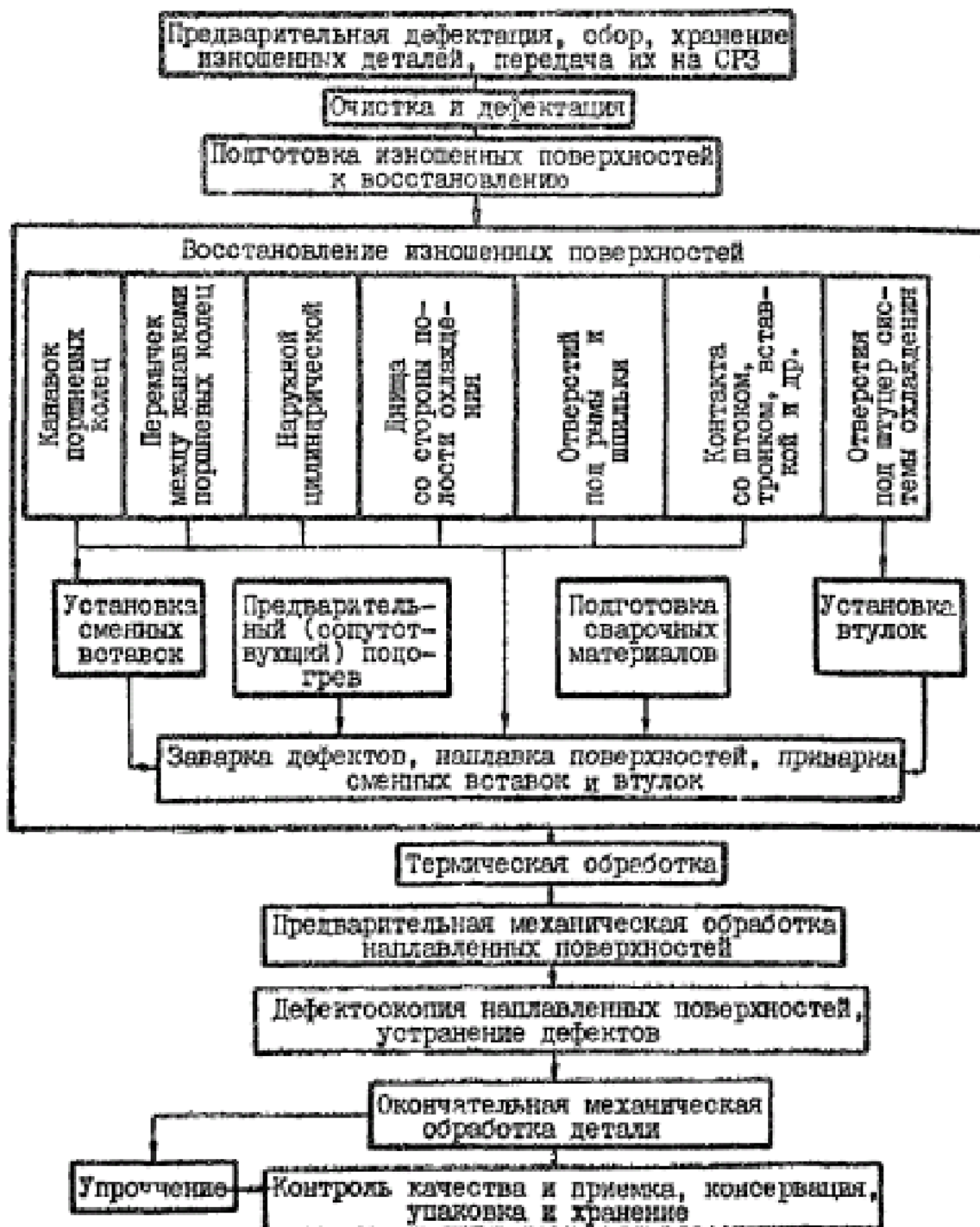


Рисунок 2 – Типовая схема построения технологического процесса восстановления поршня судового двигателя



Рисунок 3 – Подлежащий восстановительной наплавке поршень судового дизеля

После проведения восстановительной наплавки поршень должен соответствовать требованиям чертежа в плане соблюдения всех установочных и рабочих размеров.

Для реализации технологического процесса задействованы металлообрабатывающие станки, абразивный инструмент, сварочное оборудование, устройства термической обработки.

Также при построении технологии восстановительной наплавки поршней судовых двигателей следует принимать во внимание вредность производства, так как при выполнении технологического процесса выделяется значительное количество пыли, токсичных веществ и сварочных аэрозолей.

При несоблюдении правил санитарии и производственной безопасности возможно резкое повышение вероятности получения работником травмы и риска профессиональных заболеваний. При реализации технологии необходимо соблюдать требования государственных и отраслевых стандартов в области охраны труда и техники безопасности.

1.2 Сведения о материале для изготовления поршня судового двигателя

Рассматриваемый поршень судового двигателя выполняется из сплава АК12М2МгН (АЛ25), «который может быть отнесен к литейным алюминиевым сплавам и применяется для отливок поршней дизелей и изготовления других фасонных отливок. Содержание химических элементов в сплаве АЛ25» [17] представлено в таблице 1.

Таблица 1 – «Содержание химических элементов в сплаве АЛ25

Fe	Mn	Ni	Si	Ti	Cr	Cu	Mg	Zn
до 0,8	0,3...0,6	0,8...1,3	11...13	0,05...0,2	до 0,2	1,5...3	0,8...1,3	до 0,5» [17]

При сварке и наплавке деталей из алюминиевых сплавов возникает ряд трудностей, от успешного решения которых зависит качество выполняемых работ. Возникающие трудности обусловлены особенностями алюминиевых сплавов, которые проявляются в процессе нагрева, плавления и кристаллизации при сварке и наплавке.

Первым затруднением является наличие на поверхности ремонтируемых деталей окислов Al_2O_3 , температура плавления которых составляет более двух тысяч градусов, что превышает температуру плавления чистого алюминия. Слой окисла препятствует сплавлению кромок и оказывает значительный загрязняющий эффект. Также следует принимать во внимание, что плотность таких окислов превышает плотность расплавленного алюминия, что становится причиной их погружения в расплавленный металл и засорения его [31].

В качестве второго затруднения следует отметить высокую текучесть расплавленного алюминия, что приводит к вытеканию расплавленного металла из сварочной ванны в зазор и создает трудности к поддержанию геометрии сварочной ванны.

Третьим затруднением является значительный коэффициент линейного расширения и малое значение модуля упругости основного металла. В результате при нагреве в процессе сварки происходит образование остаточных напряжений и деформаций, уровень которых существенно превышает уровень остаточных напряжений и деформаций при сварке конструкционных сталей. Это может стать причиной коробления конструкции и снижения её усталостной прочности.

Четвертым затруднением при сварке является необходимость тщательной очистки поверхности деталей и сварочной проволоки от окисной плёнки, которая становится причиной несплошностей сварного шва.

Пятой проблемой при сварке алюминиевых сплавов является высокая растворимость в расплавленном алюминии газов, что становится причиной высокой пористости в сварном шве, которая существенно снижает эксплуатационные свойства конструкции.

В качестве шестого затруднения следует указать неблагоприятные изменения структуры наплавленного металла, а также образование горячих трещин при сварки и наплавке. Также следует отметить значительную усадку алюминия при кристаллизации, которая может составлять до 7 %, что становится причиной несплошностей в сварном шве, пор, горячих трещин и остаточных деформаций.

Для защиты поверхности деталей при сварке и сварочной ванны применяют атмосферу из инертных газов или специальные флюсы. Для повышения стойкости металла сварного шва против горячих трещин в него вводят некоторое количество железа, которое позволяет частично нейтрализовать влияние кремния.

Повышение качества обеспечивается применением источников энергии высокой концентрации – лазерной сварки, плазменной сварки, электронно-лучевой сварки. Также следует отметить перспективность применения ротационной сварки перемешиванием.

1.3 Особенности технологии ремонтной сварки наплавки поршня судового двигателя

На рисунке 4 представлена «схема участка для выполнения ремонтной сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов. Участок оснащен источником питания сварочной дуги, оснасткой для закрепления деталей, системой вентиляции, устройством подачи газа» [31].

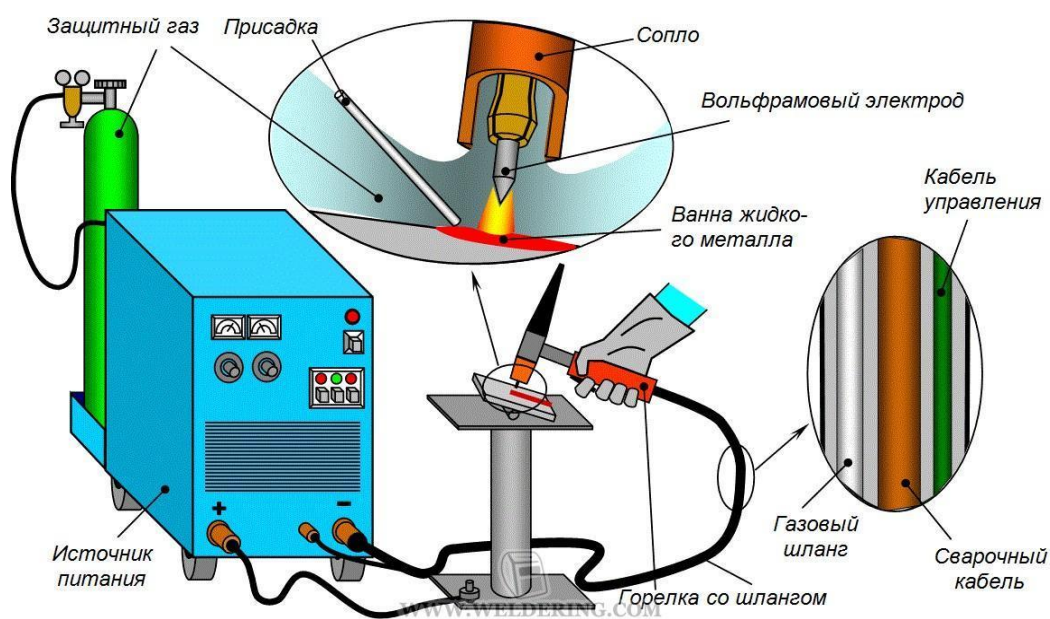


Рисунок 4 – Схема участка для проведения сварки и ремонта деталей из алюминиевых сплавов

«Наличие дефектов на детали обнаруживается при внешнем осмотре. Для конкретизации типов и размеров дефектов, их положения на детали, применяются дополнительные приборы и измерительный инструмент. После осмотра и выявления дефектов проводят маркировку деталей с применением цветного маркера, нанося на поверхность деталей метки, цветность которых определяет их дальнейший маршрут. Если деталь признана непригодной к дальнейшему использованию, на её поверхности оставляют метку красного цвета. Такие детали поступают на утилизацию. Если деталь признана годной, то её следует пометить маркером зелёного цвета, такие детали поступают на участок комплектования двигателя и сразу используются для проведения

ремонта. Если деталь может быть восстановлена с применением имеющихся на предприятии технических средств, такую деталь помечают маркером желтого цвета» [1].

Помеченные жёлтым детали поступают на участок ремонта. Далее выполняют их подготовку для восстановительной наплавки. При помощи водного раствора NaOH проводят обезжиривание наплавляемой поверхности. Температура раствора поддерживается в диапазоне 60...70 °С, а концентрация – 10 %. Под действием раствора происходит стравливание окисной пленки с поверхности детали, для чего требуется приблизительно 2...3 минуты. Далее необходимо «выполнить промывку детали в проточной холодной воде, что позволяет смыть остатки щелочного раствора с её поверхности, после промывки детали просушивают сжатым воздухом. Перед самой наплавкой следует выполнить зачистку поверхности с применением металлической щетки. Зачистку выполняют на расстоянии 15...25 мм от предполагаемого места наплавки. Щетка должна иметь щетину из нержавеющей стали с диаметром щетинок не более 0,15 мм. При зачистке не применяют наждачный круг, так как в процессе его работы происходит быстрое загрязнение его поверхности и снижение эффективности очистки. После того, как была выполнена механическая очистка наплавляемой поверхности, её насухо вытирают с применением чистой ветоши, что позволяет удалить пыль и порошкообразные загрязнения» [9]. Операцию сварки и наплавки можно проводить после проведения очистки не позднее 5...6 часов, в противном случае необходимо проведение повторной очистки перед сваркой и наплавкой.

Непосредственно перед наплавкой выполняют подготовку места сварки, выбирая дефектный металл при помощи фрезы. Последовательность выполнения технологических операций при восстановительной сварке и наплавке поршней судового двигателя представлена на рисунке 5. Для питания сварочной дуги применяется источник переменного тока. Сварку и наплавку ведут с применением неплавящихся вольфрамовых электродов с

добавлением 1,5...2 % окислов лантана, что позволяет увеличить ресурс работы сварочного электрода и повысить значение тока на 15 % без риска разрушения электрода. Перед выполнением восстановительной сварки и наплавки необходимо провести заточку рабочего конца электрода под конус, угол которого составляет 60 градусов, а длина заточки составляет 2...3 диаметра электрода. На рисунке 6 представлена форма заточки неплавящегося электрода. Для питания дуги применяется источник УДГУ-315, который представлен на рисунке 7. Для защиты сварочной ванны применяется аргон высшего сорта согласно ГОСТ 10157-79, который поставляется и хранится в баллонах серого цвета, представленных на рисунке 8. Объем баллонов составляет 6,3 м³, давление газа внутри баллона составляет 15 МПа. Баллон имеет информационную надпись зелёного цвета «аргон».



Поверхность поршня до восстановления



Фрезерование дефекта



Наплавка рабочей поверхности поршня



Фрезерование рабочей поверхности поршня

Рисунок 5 – Последовательность выполнения технологических операций при восстановительной сварке и наплавке поршней судового двигателя

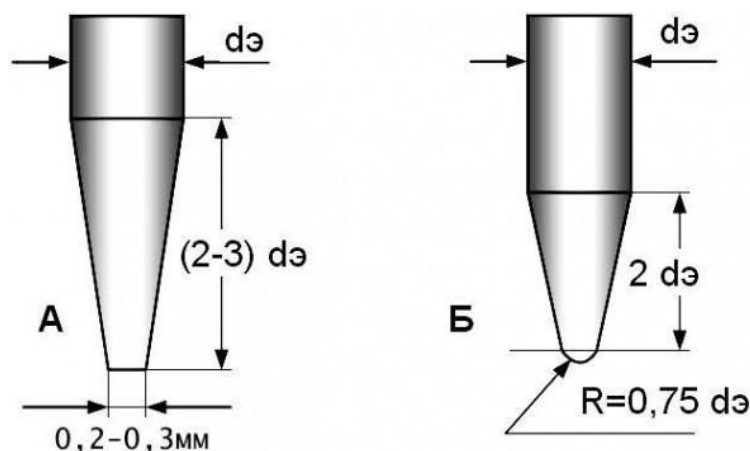


Рисунок 6 – Рекомендуемая форма заточки неплавящихся электродов для сварки на постоянном (а) и переменном (б) токе



Рисунок 7 – Источник питания УДГУ-351



Рисунок 8 – Баллоны для аргона

Параметры режима ремонтной сварки и наплавки представлены в таблице 2. После того, как была выполнена сварка и наплавка, необходимо провести очистку поверхности детали от загрязнений и брызг расплавленного металла. После очистки проводят внешний осмотр места восстановительной наплавки и прилегающих областей металла на ширину не менее 20 мм в обе стороны.

Таблица 2 – Значение параметров ремонтной сварки и наплавки поршней судового двигателя

«Номер режима	Ток, А	Диаметр проволоки, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Расход аргона, л/мин
1	100...140	3	2	8...10
2	130...150	4	2	8...10
3» [17]	140...170	4	3	10...12

При помощи фрезерования выполняют восстановление геометрии поршня, как показано на рисунке 5. Обнаружение внутренних дефектов проводят с применением дефектоскопа УД 2-102, который представлен на рисунке 9. Перемещая преобразователь по поверхности детали, получают картину сигналов, выполняя анализ которой специалист делает вывод о наличии и уровне дефектности в исследуемой детали.



Рисунок 9 – Работа ультразвукового дефектоскопа УД2-102

Сформулируем недостатки базовой технологии, устранение которых позволит повысить эффективность проведения восстановительных работ на деталях судовых двигателей.

Первым недостатком является малая производительность восстановительной сварки и наплавки, которая связана с невозможностью применения форсированных режимов. Увеличение тока приводит к повышению тепловой нагрузки на неплавящийся электрод и его быстрому разрушению. Также при увеличении тока наблюдается усиление разбрызгивания металла и усиление дефектности наплавленного металла.

Вторым недостатком является сложность обеспечения наплавки по развитой поверхности, что связано с низкой пространственной стабильностью дуги.

Также следует указать на то, что представленные в предыдущих разделах проблемы сварки и наплавки алюминиевых сплавов в базовой технологии не устраняются.

1.4 Поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов

Предстоящая выпускная квалификационная работа будет выполняться по тематике повышения эффективности ремонтной сварки и наплавки деталей машин из алюминиевых сплавов. Выше были обозначены трудности, сопровождающие реализацию технологии ремонта. Для устранения этих затруднений и решения проблемы повышения качества ремонтной алюминиевых сплавов следует провести литературные изыскания. Литературный поиск проводим в сети ИНТЕРНЕТ, для чего в качестве ключевых слов используем «сварка алюминиевых сплавов», «повышение качества сварки», «диссертация», «сварка листовых конструкций из алюминия». Также поиск проводим по таким базам знаний, как «Диссеркет», «Киберленинка» и «Е-Лайбрери». Значительное количество статей может быть найдено по результатам поиска системе «ПатонПаблиш».

По результатам поиска источников научно-технической информации было найдено для предварительного анализа значительное количество статей, которые приведены в библиографическом списке настоящей выпускной квалификационной работы.

Первая работа «посвящена повышению эффективности плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов. В работе проведено исследование влияния параметров плазменной сварки алюминиевых сплавов на обратной полярности и возможности эффективного управления процессом. Установлено, что тепловложение в анод плазматрона может быть использовано для измерения падения напряжения на дуге. Данная работа позволяет в качестве альтернативного способа сварки предложить плазменную сварку» [39].

Вторая работа посвящена «повышению эффективности механизированной сварки в защитных газах применительно к деталям из

алюминиевых сплавов. На основании проведенных исследований сделан вывод о высокой эффективности применения механизмов импульсной подачи сварочной проволоки. При этом отмечается существенное расширение технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах, заключающиеся в улучшении внешнего вида соединения и формирования сварочного шва. Также применение импульсной подачи сварочной проволоки позволяет существенно уменьшить потери проволоки на угар и разбрызгивание, а также повысить эффективное КПД сварки. Данная работа позволяет в качестве альтернативного способа сварки предложить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения» [21].

Третья работа посвящена «повышению эффективности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Показано, что при сварке деталей из алюминиевых сплавов, содержащих литий, необходимо применять асимметричный ток, в котором преобладают по длительности импульсы обратной полярности, что позволяет повысить интенсивность процесса очистки от окисной плёнки. Кроме того, на снижение содержания в сварном шве окислов положительное влияние оказывает подогрев сварочной проволоки перед её поступлением в сварочную ванну. Данная работа позволяет в качестве альтернативного способа сварки предложить аргонодуговую сварку неплавящимся электродом» [29].

Четвертая работа [28] посвящена внедрению сварки трехфазной дугой, рассмотрены её преимущества и недостатки, перспективы её применения в ракетостроении. Данная работа позволяет в качестве альтернативного способа сварки предложить сварку трехфазной дугой неплавящимся электродом.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В представленной к защите выпускной квалификационной работе рассматриваются технические и организационные решения в области повышения эффективности работы ремонтных предприятий, выполняющих восстановление поршней судовых двигателей из алюминиевых сплавов. При реализации базовой технологии предусматривается применение сварки неплавящимся электродом в защитных газах, в числе недостатков которой необходимо указать низкую производительность и высокие требования к квалификации исполнителя работ. Кроме того, применение сварки неплавящимся электродом в случае восстановления рассматриваемых деталей двигателя характеризуется значительным количеством дефектов, устранение которых дополнительно повышает трудоемкость процесса и снижает показатели производства.

На основании анализа состояния вопроса может быть проведена постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы. Первой задачей является выбор способа сварки, применение которого будет обосновано при реализации проектной технологии, для чего следует оценить особенности применения рассматриваемых способов для восстановления детали. Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки, для чего следует применить предлагаемые отечественными разработчиками сварочного оборудования решения. Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, для чего следует предусмотреть реализацию проектной технологии с применением выбранного оборудования, назначить параметры режима и условия выполнения операций. Также в оценочных разделах необходимо провести обоснование предложенных решений с точки зрения обеспечения безопасности труда и повышения экономических показателей предприятия [3], [7], [18], [26].

2 Проектная технология восстановительной сварки и наплавки поршней судовых двигателей

2.1 Обоснование выбора способа восстановительной сварки и наплавки поршней судовых двигателей

Ранее был выполнен анализ особенностей алюминиевого сплава, из которого выполнен поршень судового двигателя. Эти особенности обуславливают трудности сварки и наплавки, от успешного решения которых зависит качество проводимых работ и эксплуатационные свойства восстановленной детали. Такими проблемами являются:

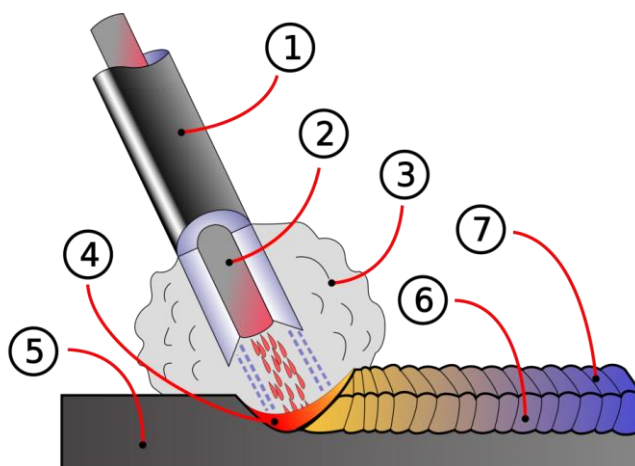
- наличие на поверхности деталей плёнки окислов, которая не расплавляется в процессе сварки и наплавки, а тонет в сварочной ванне, загрязняя её и становясь причиной возникновения многочисленных дефектов;
- провал прочности металла, который наблюдается при температурах, близких к температуре плавления, приводящий к вытеканию сварочной ванны и затрудняющий поддержание требуемой геометрии восстанавливаемой детали;
- высокая растворимость газов в расплавленном алюминии, что становится причиной пористости из-за того, что в процессе остывания и кристаллизации растворенные газы не успевают полностью покинуть металл;
- крупнозернистая структура наплавленного металла с вытеснением по краям легкоплавкой эвтектики, что становится причиной образования горячих трещин при сварке и наплавке деталей из алюминиевых сплавов;
- «значительный» уровень остаточных напряжений и деформация, который становится причиной образования трещин и снижает эксплуатационные свойства восстановленных деталей.

На основании предварительного анализа возможных способов ремонтной сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов для построения проектной технологии могут быть рекомендованы следующие способы:

- ручная дуговая сварка и наплавка с применением покрытых электродов,
- механизированная сварка и наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения,
- сварка и наплавка с применением сжатой дуги (плазменная сварка и наплавка);
- сварка и наплавка с применением неплавящегося электрода и дуги, горящей, в инертных газах (аргонодуговая сварки и наплавка неплавящимся электродом)» [9];
- сварка и наплавка трёхфазной дугой (разработка коллектива авторов Тольяттинского государственного университета).

Применительно к деталям из алюминиевых сплавов достаточно технологичным может оказаться сварка и наплавка с применением штучных покрытых электродов, которая ведётся на постоянном токе обратной полярности [30]. Обратная полярность позволяет эффективно бороться с окисной плёнкой на поверхности деталей. Для снижения выгорания легирующих элементов и окисления основного металла следует сварку вести на короткой дуге, при этом угол наклона электрода должен составлять $60...90^\circ$, это позволяет обеспечить возможность визуального контроля за формированием наплавленного валика. Ремонтную сварку деталей из алюминиевых сплавов с применением ручной дуговой сварки следует проводить с предварительным подогревом до температуры $150...200^\circ\text{C}$, что позволяет избежать образования трещин и снизить уровень остаточных напряжений в конструкции. При сварке и наплавке покрытыми электродами в основном применяют нижнее положение, что ограничивает область применения этого способа сварки для деталей со сложной геометрией.

Преимуществами ручной дуговой сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов можно считать простоту применяемого оборудования, которое, скорее всего, уже есть на предприятии. Таким образом, технологию сварки и наплавки можно внедрять без существенных затрат на приобретение нового оборудования. Применением специальных электродов, в обмазках которых введены дополнительные элементы, позволяют получать наплавленные слои металла с уникальными свойствами. Техника ручной дуговой сварки и наплавки давно изучена и её применение на предприятии не требует получения персоналом новых навыков и теоретических знаний. На рисунке 10 представлена схема выполнения ручной дуговой сварки наплавки деталей из алюминиевых сплавов с применением штучных покрытых электродов.



1 – покрытие электрода, 2 – стержень электрода, 3 – газовая защита, 4 – сварочная ванна,
5 – основной металл, 6 – наплавленный металл, 7 – шлак

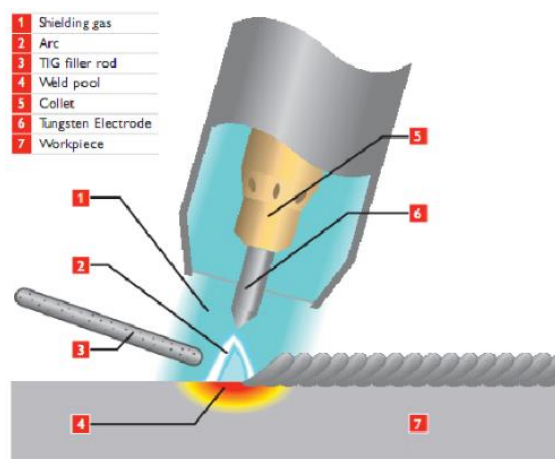
Рисунок 10 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Однако «ручная дуговая сварка и наплавка имеет ряд недостатков, которые заставляют заменять её на более перспективные способы. Первым таким недостатком является малая производительность. В качестве второго недостатка следует указать тяжёлые условия труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере вредных аэрозолей и излучения дуги. В качестве третьего недостатка необходимо указать низкую стабильность качества выполняемой наплавки, которая в значительной мере зависит от

квалификации и состояния сварщика, выполняющего работы. При этом смена израсходованного электрода заставляет прерывать процесс сварки и наплавки» [31], в результате чего страдает качество и производительность работ.

Существенного повышения качества наплавленного металла удаётся достигнуть применением аргонодуговой сварки и наплавки неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 11. Подаваемый через сопло инертный газ (аргон, гелий и газовые смеси) выполняет функцию защиты сварочной ванны от атмосферы, также сварочная дуга горит в облаке ионизированного инертного газа. Электрод выполнен из тугоплавкого материала и расположен в центре сопла горелки. Присадочный металл подается вручную в виде проволоки в зону горения сварочной дуги. Сварку выполняют на переменном токе, что позволяет выполнять очистку от окислов без перегрева неплавящегося электрода. Сварка и наплавка неплавящимся электродом длительное время применяется для изготовления и ремонта ответственных деталей из алюминиевых сплавов, позволяет удовлетворить высокие требования по качеству и эксплуатационным свойствам изделий. Преимуществами этого способа является хороший внешний вид наплавленного металла, стабильность качества и малое количество дефектов, возможность получения наплавленных слоев с уникальными свойствами за счёт изменения состава присадочной проволоки. Также следует отметить малое тепловое воздействие на основной металл, которое существенно меньше, чем в случае ручной дуговой сварки и наплавки.

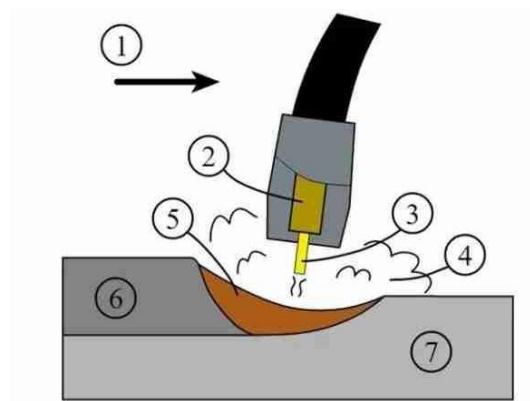
В числе недостатков сварки и наплавки неплавящимся электродом следует указать малую производительность процесса. Также для реализации этого способа требуется высокий профессионализм сварщика [42].



1 – защитный газ, 2 – дуга, 3 – присадочный пруток, 4 – сварочная ванна,
5 – электрододержатель, 6 – неплавящийся электрод, 7 – изделие

Рисунок 11 – Схема выполнения сварки неплавящимся электродом

Для сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов может быть применена механизированная сварка, для выполнения которой используются специализированные источники с импульсным управлением сварочной дугой. На рисунке 12 представлена схема механизированной сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов. Наиболее широко преимущества механизированной сварки и наплавки раскрываются не деталях значительной толщины [35], [31].



1 – направление сварки, 2 – контактный наконечник, 3 – электродная проволока,
4 – защитный газ, 5 – сварочная ванна, 6 – наплавленный металл, 7 – основной металл

Рисунок 12– Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

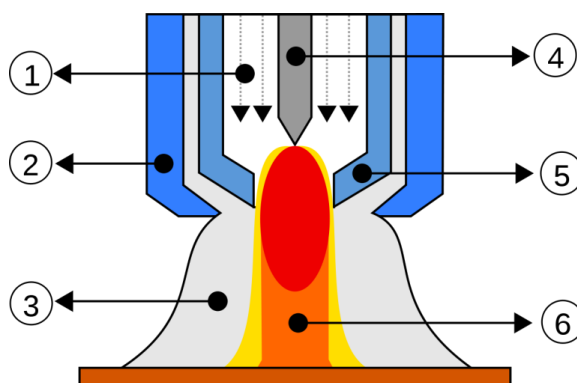
Механизированная сварка и наплавка деталей из алюминиевых сплавов имеет ряд специфических затруднений, решение которых определяет

эффективность применения этой технологии к конкретной детали. Перовое затруднение связано с высокой мягкостью электродной проволоки, которая значительно чаще заламывается в механизме подачи. Для того, чтобы избежать застревания проволоки, приходится усложнять механизм, снабжая его дополнительными роликами. Ещё одним затруднением является необходимость постоянной очистки сопла, через которое происходит подача проволоки. Следует отметить малый срок службы наконечников горелок, который составляет 30...40 часов для медных и 8..10 часов для медно-графитовых наконечников. При этом предпочтение приходится отдавать именно медно-графитовым наконечникам, которые, несмотря на малый срок службы, позволяют получить надёжное скольжение проволоки и подвод сварочного тока. При механизированной сварке минимальный диаметр проволоки ограничивается 2,5 мм, при использовании проволоки меньшего диаметра проблемы с пористостью выходят на первый план и существенно ухудшают качество наплавленного металла.

Расширение технологических возможностей оборудования для механизированной сварки деталей из алюминиевых сплавов достигается применением импульсного управления горением сварочной дуги. В настоящее время мировым производителем сварочного оборудования (Cloos, Lincoln Electric, EWM, OTC, Fronius, Lorch, Kemppu) представлены источники питания, позволяющие уменьшить процент разбрызгивания электродного металла до 1 %, а капли металла не прилипают с поверхности деталей [11], [12], [21]. Импульсное управление сварочной дугой позволяет дозировать подачу электрической энергии в сварочную дугу, повысить интенсивность перемешивания металла сварочной ванны и ускорить протекание процессов дегазации. Горение дуги происходит более предсказуемо и стабильно, что позволяет вести сварку и наплавку по сложной траектории.

Начиная с середины прошлого века отмечается развитие плазменных способов сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов. Сварка и наплавка сжатой дугой позволяет получить значительные преимущества перед

другими способами, схема сварки и наплавки сжатой представлена на рисунке 13. Плазменная сварка и наплавка позволяет снизить вложение тепла в основной металл, что предотвращает коробление детали и снижает уровень остаточных напряжений в конструкции [23], [40], [44]. Также следует указать на высокую стабильность горения сжатой дуги, которое не зависит от пространственного положения и длины дуги. Это позволяет проводить сварку и наплавку по сложной траектории, что особенно важно при восстановлении деталей машин. При построении оборудования для плазменной наплавки необходимо учитывать опасность блуждания дуги и перехода её на наружный торец плазматрона, при этом происходит переход плазменного процесса в обычный дуговой, снижение свойств наплавленного металла и ухудшение стабильности процесса [26]



1 – плазмообразующий газ, 2 – защитное сопло, 3 – защитный газ, 4 – неплавящийся электрод, 5 – плазмообразующее сопло, 6 – сжатая дуга

Рисунок 13 – Схема плазменной сварки

Применение трехфазной дуги для сварки и наплавки деталей из алюминиевых сплавов позволяет избежать большинства недостатков ранее перечисленных способов [8], [9], [10], [19], [20], [36]. Схема выполнения процесса представлена на рисунке 14.

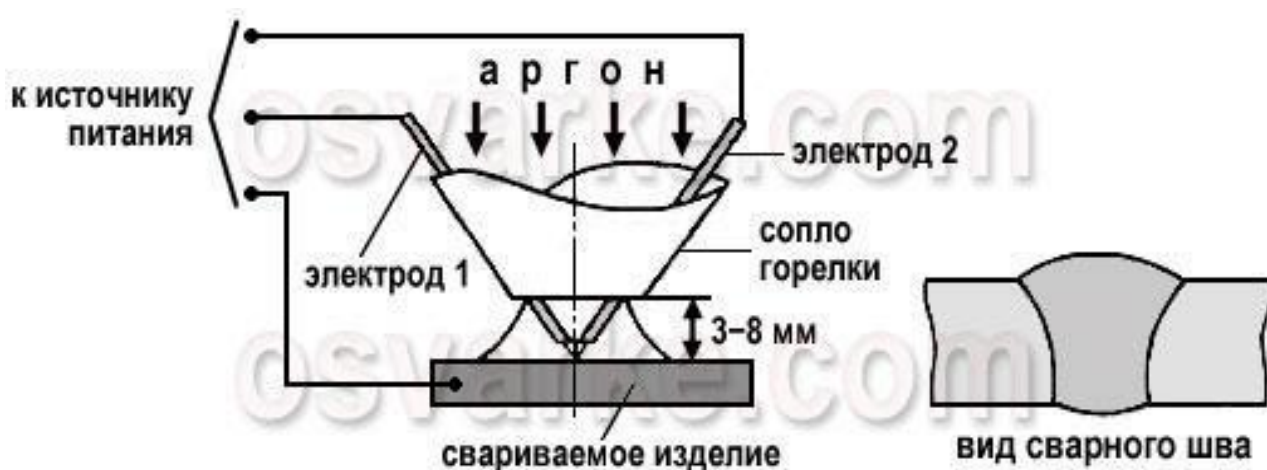


Рисунок 14 – Схема выполнения сварки трёхфазной дугой

«При сварке трехфазной дугой наблюдается существенное повышение стабильности процесса по сравнению с другими дуговыми способами. Стабильность качества находится на уровне плазменной сварки и наплавки. Питание дуги выполняется от источника переменного тока с тремя фазами. При этом одна фаза подключена к детали, а две другие фазы подключены к сварочным электродам. При такой схеме подключение наблюдается горение нескольких дуг. Первая дуга горит между неплавящимися электродами. Вторая и третья дуги поочередно горят между деталью и двумя неплавящимися электродами. Следует отметить, что помимо повышения стабильности горения дуги, происходит повышение интенсивности процесса катодной очистки от окислов, а также, улучшается дегазация металла сварочной ванны, уменьшается зернистость наплавленного слоя» [36].

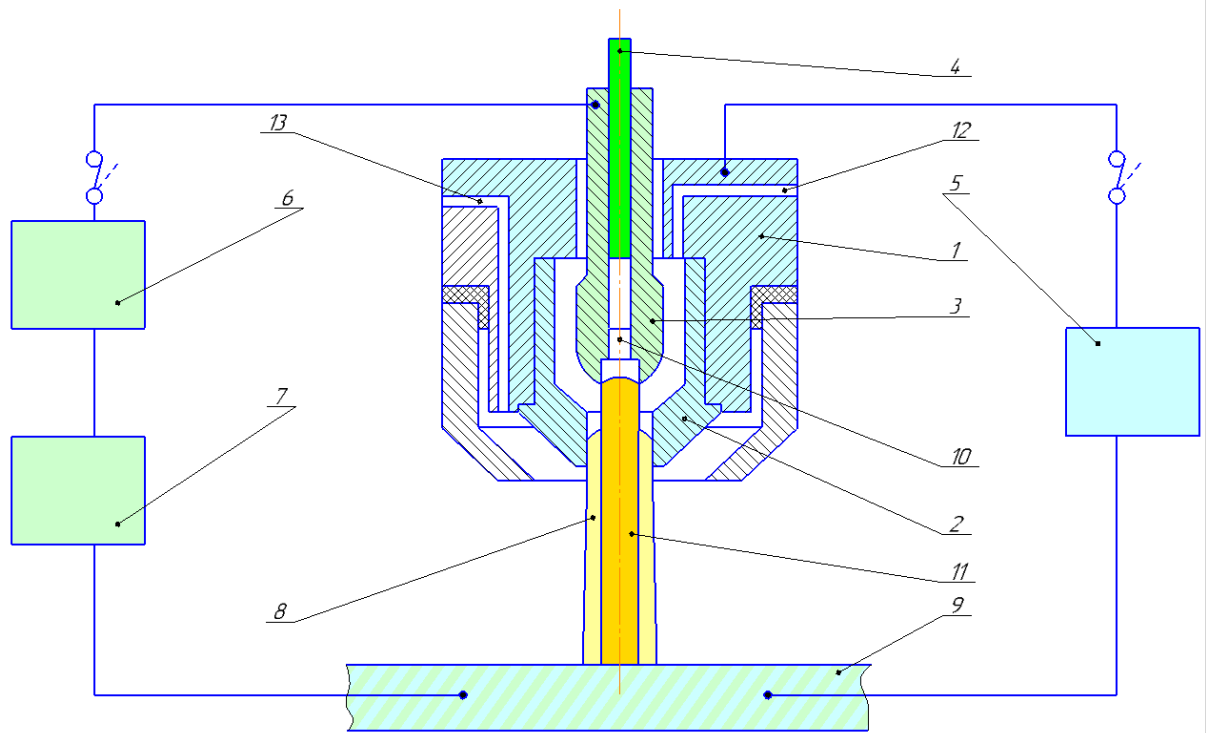
На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов ремонтной сварки при исправлении дефектов на деталях машин из алюминиевых сплавов для построения проектной технологии сварки предлагается применить плазменную сварку. Процесс плазменной сварки на деталях из алюминиевых сплавов позволяет повысить эффективность катодного распыления, увеличить проплавление основного металла и повысить качество сварного шва. Кроме того, применение плазменной сварки позволяет уменьшить расход дорогостоящего аргона.

2.2 Повышение эффективности плазменной сварки при исправлении дефектов на деталях машин из алюминиевых сплавов

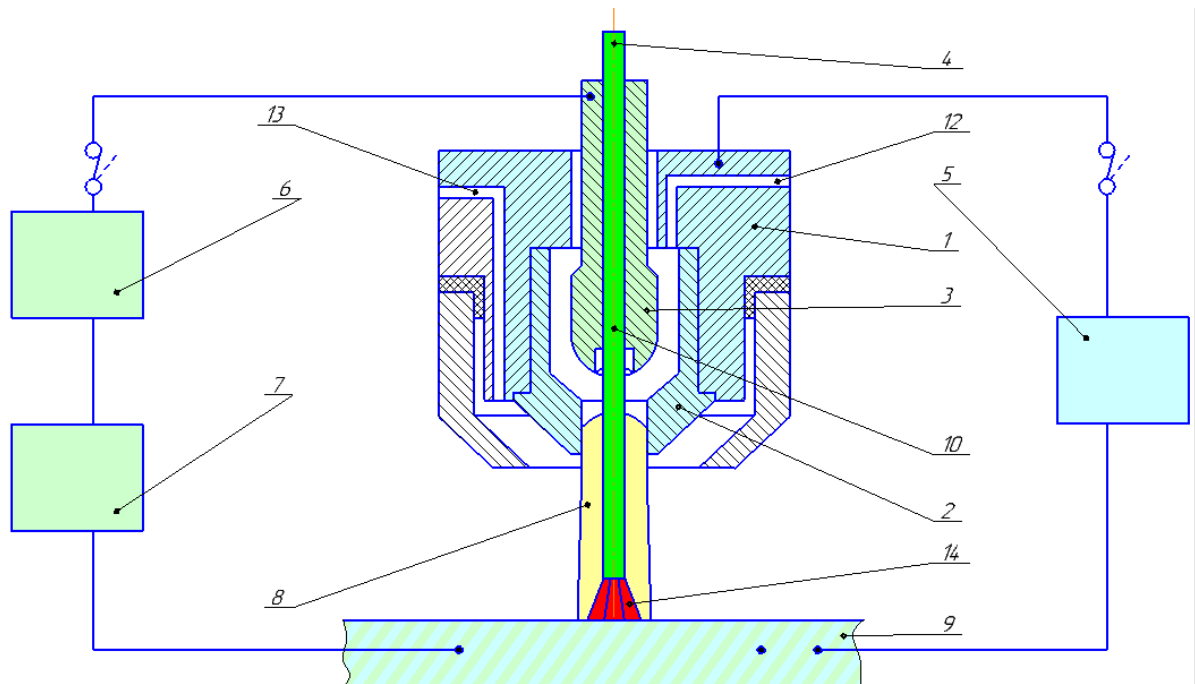
Для выполнения ремонтной сварки с применением сжатой дуги предлагается применить разработку российских исследователей-сварщиков [27].

В конструкции плазматрона, представленной на рисунке 15, предусмотрено наличие корпуса 1, кольцевого неплавящегося электрода 2, пускового неплавящегося электрода 3, плавящегося электрода 4, источников питания 5 и 6, осциллятора 7.

Пусковой неплавящийся электрод, который представлен на схеме позицией 3, выполняет две функции. Первая функция пускового неплавящегося электрода – зажигание дуги при начале сварки. Вторая функция пускового неплавящегося электрода – подвод тока к плавящемуся электроду, который обозначен на схеме позицией 4. Таким образом, работа пускового неплавящегося электрода происходит следующим образом. В начале процесса пусковой неплавящийся электрод 3 выступает в роли пускового электрода, с которого дуга зажигается на деталь 9, далее происходит самопроизвольное зажигание сжатой дуги с кольцевого неплавящегося электрода 2 на деталь. После зажигания дуги включается подача плавящегося электрода 4, с которого на деталь 9 происходит самопроизвольное зажигание сварочной дуги, в это время дуга, горящая между пусковым электродом 3 и деталью 9, гаснет. С этого момента времени пусковой электрод 3 перестает выполнять функцию зажигания и горения пусковой дуги и начинает выполнять функцию подвода тока плавящемуся электроду. Таким образом, при работе плазматрона происходит последовательное горение нескольких дуг. Первая дуга, обозначенная на схеме позицией 11, горит между пусковым неплавящимся электродом 3 и деталью 9. Вторая дуга, обозначенная на схеме позицией 8, горит между кольцевым электродом 2 и деталью 9.



а)



б)

Рисунок 15 – Работа предлагаемого плазматрона:
а) возбуждение дуги, б) сварка

«Третья дуга, обозначенная на схеме позицией 14, горит между плавящимся электродом 4 и деталью 9.

Пусковой неплавящийся электрод 3 выполнен с осевым отверстием, которое обозначено на схеме позицией 10, через которое выполняется подача плавящегося электрода 4.

При сварке располагают плазматрон относительно детали 9, подают аргон через канал подачи плазмообразующего газа, представленного на схеме позицией 12, и канал подачи защитного газа, представленный на схеме позицией 13. После этого включают осциллятор 7 и источник питания 6. При включении осциллятора между пусковым электродом 3 и деталью 9 загорается пусковая дуга, обозначенная на схеме позицией 11. Далее включают источник питания 5, что приводит к загоранию сварочной дуги, обозначенной на схеме позицией 8, между кольцевым электродом 2 и деталью 9. Далее начинается подача плавящегося электрода 4, который поступает через выполненное в пусковом электроде 3 отверстие 10» [27]. Загорается дуга между плавящимся электродом 4 и деталью 9, которая обозначена на схеме позицией 14, а пусковая дуга 11 при этом гаснет.

Применение предлагаемого плазматрона позволяет выполнять ремонтную сварку с применением комбинированной дуги, сочетающей положительные свойства сжатой дуги и плавящегося электрода. Кроме этого, решается задача повышения стойкости неплавящегося электрода при обеспечении процесса катодного распыления, так как неплавящийся электрод служит только для пуска процесса сварки, а далее выполняет функцию подвода электрода.

В таблице 3 представлены параметры процесса режима плазменной сварки при исправлении дефектов на алюминиевых деталях. На рисунке 16 представлена форма разделки при исправлении дефекта. Зачистку участка проводят по площади, не менее 30 мм во все стороны от границы разделки дефектного места. При проведении разделки следует обеспечить глубину разделки на 2...3 мм больше глубины залегания дефекта. Также ширина

разделки должна быть на 5 мм больше ширины дефекта. При выполнении разделки следует обеспечить получение плавных переходов и очертаний, не должно быть острых кромок и заусенцев. По результатам сварки проводили металлографические исследования образцов-свидетелей, которые представлены на рисунке 17.

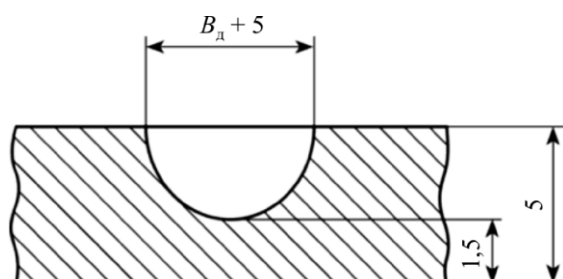


Рисунок 16 – Форма разделки при исправлении дефекта

Таблица 3 – Параметры режима плазменной сварки при исправлении дефектов на деталях из алюминиевых сплавов

Особенности применения	Ток дуги, А	Ø защитного сопла, мм	Ø плазмобразующего сопла, мм	Расход защитного газа, л/мин	Расход плазмобразующего газа, л/мин
Без подготовки поверхности	120	18	4	10	5
Подготовленная поверхность	160	18	5	7	5

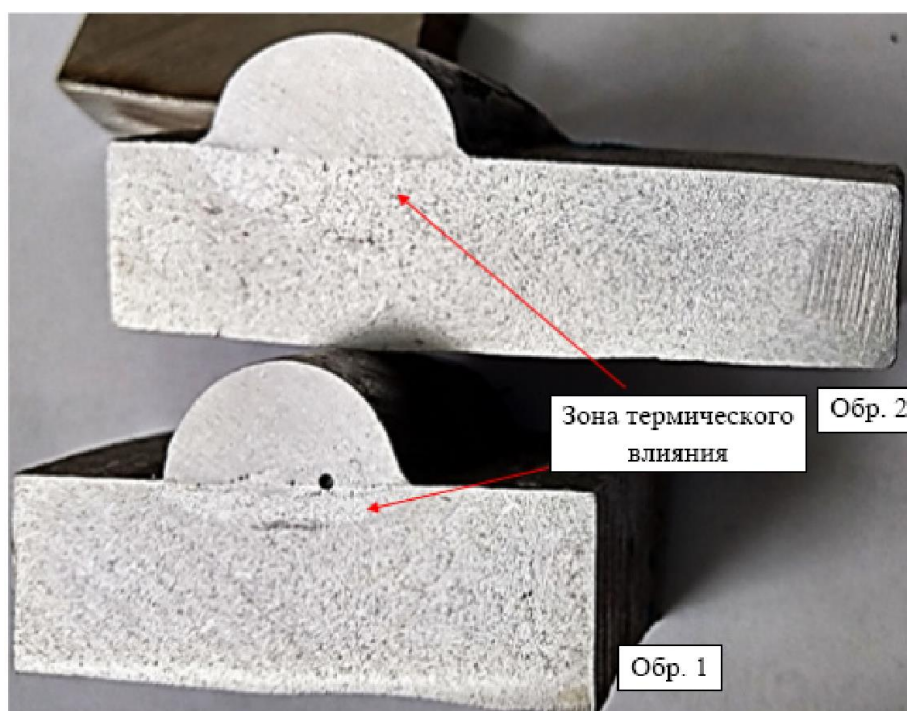


Рисунок 17 – Макроструктура образцов-свидетелей

При исследовании соединений после проведения плазменной сварки установлено, что трещины и другие видимые дефекты отсутствуют. При исследовании твердости в зонах сварного соединения установлено, что микротвердость практически одинакова по всей поверхности, на основании чего можно предположить, что равнопрочность наплавленного и основного металлов обеспечена. На рисунке 18 представлена микротвёрдость различных зон сварного соединения по результатам замеров.

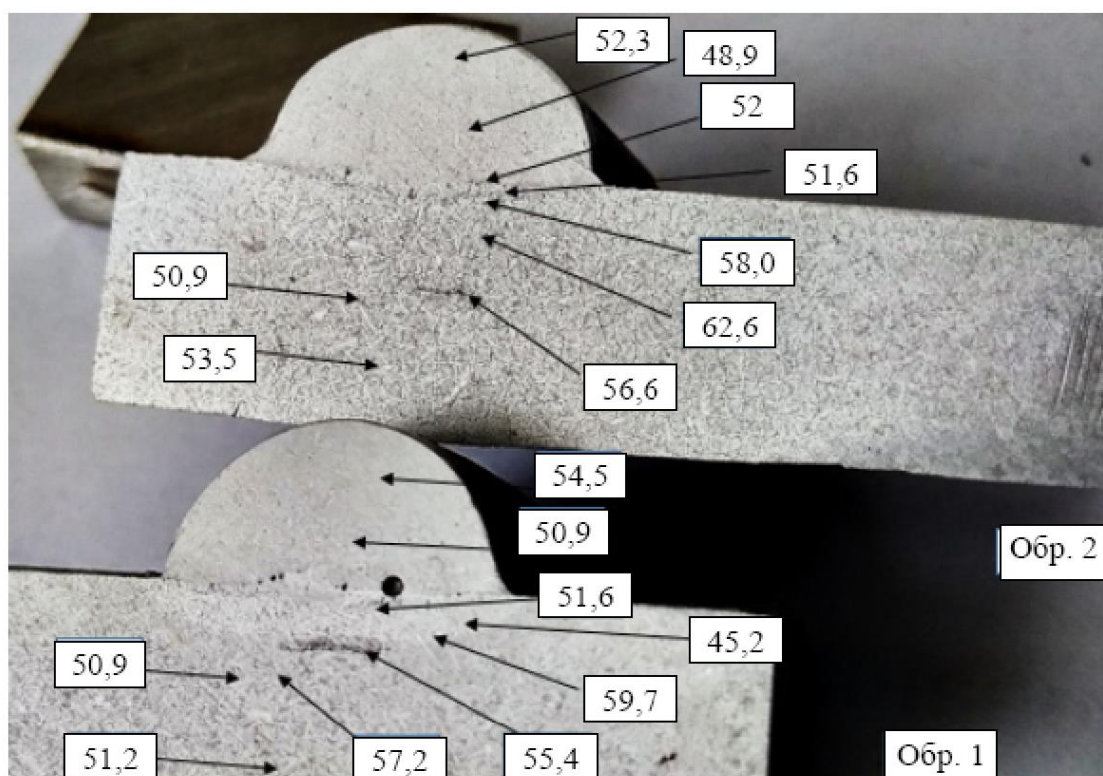


Рисунок 18 – Микротвёрдость различных участков сварного соединения по результатам замеров

После оценки микротвёрдости проведено исследование микроструктуры образцов-свидетелей. На рисунке 19-а представлена микроструктура, полученная при заварке дефекта по поверхности без подготовки. На рисунке 19-б представлена микроструктура при сварке по подготовленной поверхности. Структура наплавленного металла имеет дендритное строение и идентична исходной структуре детали. Следует отметить незначительные цепочки газовых пор в околошовной зоне, других дефектов не обнаружено.

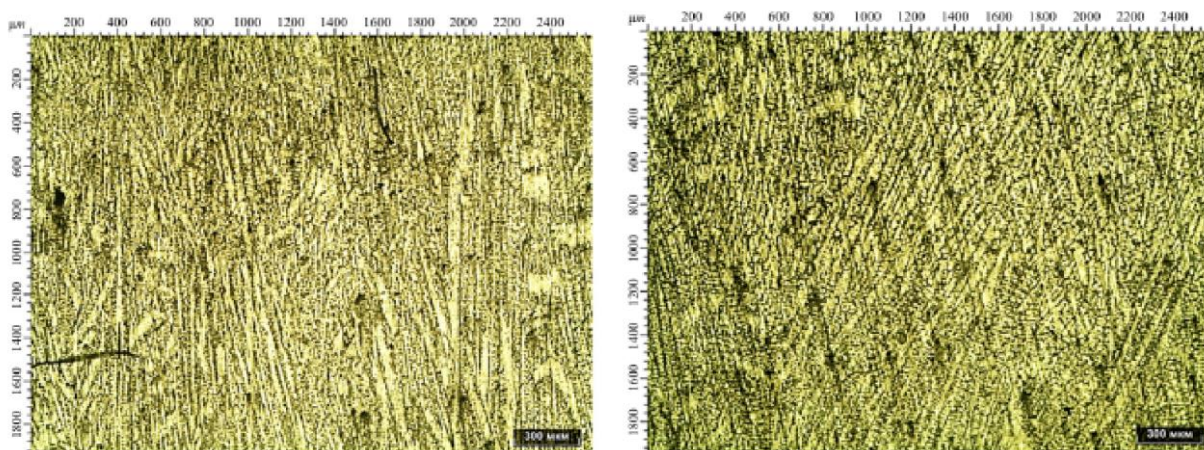


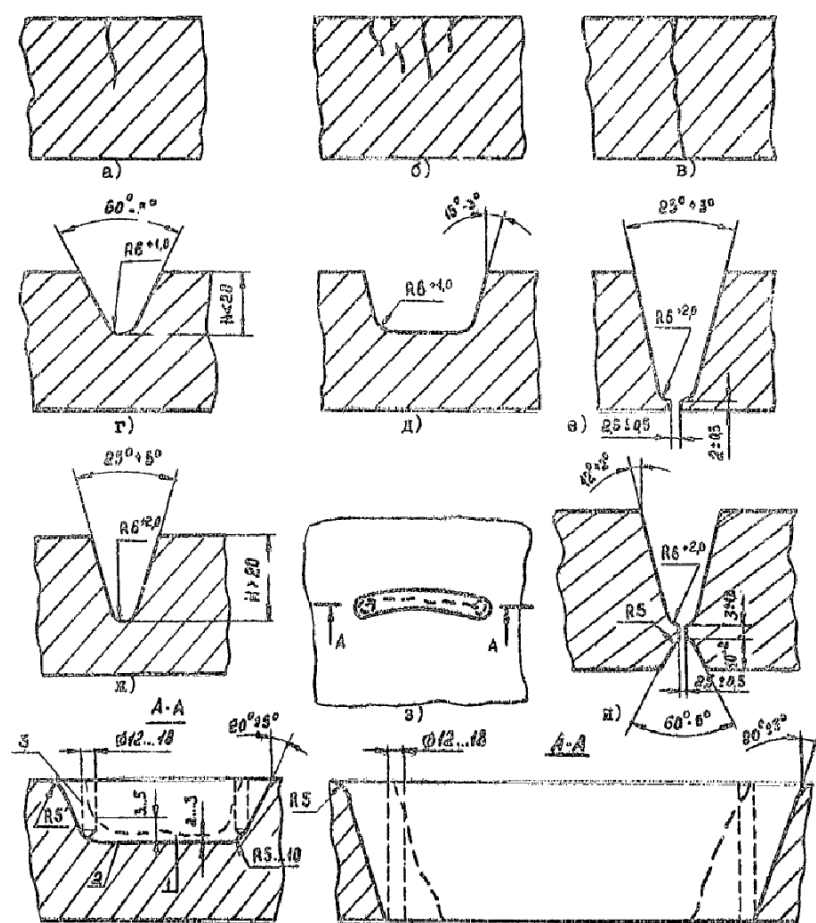
Рисунок 19 – Микроструктура образцов-свидетелей при сварке по неподготовленной (а) и подготовленной (б) поверхности

Высока эффективность плазменной сварки при ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов доказана при исправлении дефектов отливок. Установлено, что сварка на постоянном токе обратной полярности позволяет обеспечить лучшие качества наплавленного металла за счёт повышения эффективности процесса катодной очистки и более гибкого управления тепловым балансом. Также сварка с питанием сжатой дуги постоянным током обратной полярности обеспечивает получение благоприятной структуры наплавленного металла, которая характеризуется дендритным строением. При условии назначения оптимальных параметров режима сварки удастся существенно снизить пористость сварного шва и обеспечить равную прочность наплавленного металла и основного металла.

Применение режимов ремонтной сварки с повышенной погонной энергией позволяет обеспечить переход наплавленного металла к основному металлу без значительных перепадов, что позволяет повысить эксплуатационную прочность детали после проведения восстановительных работ. Помимо этого, интенсификация перемешивания металла сварочной ванны позволяет более полно удалить из неё растворенные газы и получить мелкодисперсную структуру, что устраняет опасность возникновения трещин в наплавленном металле и повышает ресурс работы детали после восстановительной сварки и наплавки [2].

2.3 Операции проектного процесса ремонтной сварки

Отверстия в поршне следует защитить от брызг расплавленного металла, для этого их закрывают с применением тестообразной огнеупорной глины. Зачистку дефектного места следует выполнять до здорового металла, разделка должна быть выполнена без заусенцев и резких переходов к основному металлу, не допускается наличие острых углов. Поверхность поршня должна быть зачищена до металлического блеска на расстояние 20...30 мм от разделки дефектного места. Если выполняется заварка трещины, необходимо засверлить её концы с применением сверла диаметром 12...18 мм, засверливаясь в тело поршня нужно на 3...5 мм глубже залегания трещины. Разделять трещину нужно на глубину более 2...3 мм от залегания трещины. Разделка трещины показана на рисунке 20.



1 – трещина; 2 – граница разделки; 3 – засверловка трещины

Рисунок 20 – Форма разделки трещин под заварку

Выборку единичных дефектов следует вести местной выборкой с плавными переходами, если глубина дефекта не превышает 5 мм. Если трещина обнаружена на поверхности полости охлаждения её следует разделять как сквозную, при этом допускается зазор в корне шва до 3 мм. Если исправляется сетка трещин или участок выгорания поршня, зачитку ведут на всем участке дефекта, заглубляясь в здоровый металл на 2...3 мм. Для разделки дефектов применяется пневматическая турбина и пневматическая дрель. После разделки дефекта выполняют контроль на наличие трещин с применением цветной дефектоскопии.

При помощи водного раствора NaOH проводят обезжиривание наплавляемой поверхности. Температура раствора поддерживается в диапазоне 60...70 °С, а концентрация – 10 %. Под действием раствора происходит стравливание окисной пленки с поверхности детали, для чего требуется приблизительно 2...3 минуты. Далее необходимо выполнить промывку детали в проточной холодной воде, что позволяет смыть остатки щелочного раствора с её поверхности, после промывки детали просушивают сжатым воздухом. Перед самой наплавкой следует выполнить зачистку поверхности с применением металлической щетки.

Параметры сварки при исправлении дефекта представлены в таблице 3. Для питания сжатой дуги применяют два сварочных выпрямителя LHM-200, которые представлены на рисунке 21 и поставляются российским предприятием «Интертехприбор».



Рисунок 21 – Источник питания LHM-200 для питания сжатой дуги

В качестве сварочной проволоки применяется проволока СвАК5 диаметром 4 мм.

После того, как была выполнена сварка и наплавка, необходимо провести очистку поверхности детали от загрязнений и брызг расплавленного металла. После очистки проводят внешний осмотр места восстановительной наплавки и прилегающих областей металла на ширину не менее 20 мм в обе стороны.

При помощи фрезерования выполняют восстановление геометрии поршня. Обнаружение внутренних дефектов проводят с применением дефектоскопа УД 2-102.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы является исполнительским и содержит описание решений задач, которые были поставлены в предыдущем разделе. При экспертной оценке альтернативных способов сварки для восстановления рассматриваемой детали принято решение построение проектной технологии проводить с использованием сварки сжатой дугой. Повышение эффективности такой сварки предлагается достигать за счёт внедрения разработок отечественных исследователей, предложивших оригинальную конструкцию плазматрона и способ комбинированной ремонтной сварки сжатой дугой. Для рассматриваемой детали составлен перечень технологических операций и требования к их выполнению, выполнено назначение параметров режима и выбор оборудования. Далее необходимо провести обоснование предложенных решений с точки зрения обеспечения безопасности труда и повышения экономических показателей предприятия [3], [7], [18], [26]. При экономическом обосновании предлагаемых решений предстоит рассчитать изменяющиеся показатели производства, реализующего базовый и проектный вариант технологии, и на основании их сравнения сделать вывод и целесообразности внедрения выпускной квалификационной работы

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

В настоящей выпускной квалификационной работе предложены технические и организационные решения по повышению эффективности ремонтной сварки при восстановлении поршней судовых двигателей. В аналитическом разделе выпускной квалификационной работы приведены особенности выполнения операция базового технологического процесса, сформулированы задачи. Второй раздел выпускной квалификационной работы содержит описание проектной технологии с применением предлагаемых технических решений. Выбрано технологическое оборудование, назначены параметры режима и требования к выполнению каждой операции. В исполнительском разделе представлены решения, обладающие технологической эффективностью, однако для обоснования их внедрения следует выполнить оценочные разделы. Данный раздел является оценочным. В ходе его выполнения предлагается выделить негативные производственные факторы, которые возникают на рассматриваемом производственном участке, влияние этих факторов на окружающую среду и персонал предприятия, составить перечень мер, позволяющих эффективно нейтрализовать идентифицированные антропогенные, опасные и вредные факторы. Кроме того, предлагается рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства. В таблице 4 представлены особенности укрупненного 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 4 – Особенности реализации проектного технологического процесса

Операция	Персонал	Оборудование
1. «Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая, компрессор, сверлильный станок
2. Заварка дефектного места	Электросварщик	Источник питания, сварочная горелка
3. Контроль качества» [9]	Дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп, штангенциркуль, твердомер, контрольный стол

На основании представленных в таблице 4 данных можно будет идентифицировать возникающие в процессе реализации проектной технологии негативные производственные факторы.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

В процессе выполнения операций на рассматриваемом производственном участке будет неминуемо будет происходить возникновение опасных и вредных производственных факторов. В результате действия на персонал опасного фактора наблюдается повышение вероятности получить травму. В результате действия на персонал вредного производственного фактора наблюдается ухудшение самочувствия и возникновение профессиональных заболеваний. Необходимо помнить, что общее действие нескольких негативных факторов не равно их сумме, так как действующие одновременно факторы усиливают друг друга, это представляет дополнительную угрозу для персонала предприятия. В таблице 5 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторов, вопросы защиты от которых следует рассмотреть в дальнейшей части настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

Таблица 5 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор	Источник фактора
«Подготовка а дефектного участка	- 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; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая
Заварка дефектного места	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Источник питания, сварочная горелка
Контроль качества» [9]	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Ультразвуковой дефектоскоп

Негативные производственные факторы порождаются применяемым сварочным оборудованием и непосредственно открыто горячей сварочной дугой. Также источником негативных факторов выступает вспомогательное оборудование, в ходе эксплуатации которого возможно получение травм. Дальнейшие работы предусматривают поиск и оценку эффективности технических решений и организационных мероприятий, направленных на нейтрализацию негативных производственных факторов. Поиск средств защиты следует вести в области известных решений и арсенала современного предприятия. В противном случае возникнет необходимость в разработке специальных решений

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

Для эффективной нейтрализации негативных производственных факторов должны быть предложены решения, включающие в себя перечень технических средств и организационных мероприятий. Стандартные меры, реализация которых на современном предприятии позволяет обеспечить требуемый уровень промышленной безопасности, представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора
«Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала
Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предостерегающая окраска, предупреждающие плакаты.
Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Инструктаж производственного персонала
Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции
Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов
Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ
Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья» [7]	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения

Представленные в таблице 6 средства направлены на обеспечение требуемого уровня промышленной безопасности, делают возможным снижение травматизма и профессиональных заболеваний. Особую значимость имеет соблюдение трудовой дисциплины и порядка на рабочем месте.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

При реализации технологических процессов с применением сварочного оборудования существенно повышается опасность возникновения пожара на производственном участке. Источником опасности становится сварочная дуга и устройства для термической обработки. В таблице 7 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 7 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов
Наименование оборудования	«Оборудование для подготовки поверхности отливки под ремонтную сварку, разделки дефекта, сварочное оборудование и аппаратура контроля» [7]
Классификация по виду горящего вещества	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [7]
Наименование основных опасных факторов пожара	«Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода» [7]
Наименование вторичных опасных факторов пожара	«Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [7]

Таким образом, на основании особенностей пожара на рассматриваемом производственном участке, если таковой произойдет, его следует отнести к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей 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 таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 7 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [7]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Особое внимание следует уделить соблюдению трудовой дисциплины, которая позволяет значительно снизить опасность возгорания. Кроме того, с персоналом следует проводить тренинги и инструктаж, направленный на повышение ответственного отношения к трудовому процессу и отработке поведения в случае возникновения внештатных ситуаций.

Значительное снижение потерь при пожаре достигается благодаря слаженному действию персонала при его возникновении. Необходимо принять меры по выявлению места возникновения пожара, отключению электрического питания от технологического оборудования, эвакуации персонала, первичному тушению пожара и вызову пожарной команды. В большинстве случаев возникающий пожар может быть потушен силами сотрудников предприятия, если они предварительно прошли обучение по пользованию средствами тушения. Также на противопожарную безопасность положительно влияет повышение культуры производства и своевременное удаление с производственного участка пожароопасного мусора. Следует содержать в исправности технологическое оборудование.

3.5 Экологическая безопасность

При осуществлении технологи ремонтной сварки происходит антропогенное действие на окружающую среду, которое в значительной степени может быть уменьшено при условии проведения природосберегающих мероприятий, которые предусматриваются при построении процессов на современном производстве. 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. Для уменьшения антропогенного действия предлагается ряд мероприятий, который представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Технологический объект	Производственный участок сборки и сварки с 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» [2]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [2]
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» [2]

Эффективностью обладает селективный сбор мусора, который не требует значительных капитальных вложений, но существенно снижает негативное действие на окружающую среду. Кроме того, селективный сбор мусора повышает культуру производства, и положительно сказывается на качестве работ и условиях труда персонала. Также происходит снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий экологический раздел является оценочным и содержит анализ технического объекта – участка для ремонтной сварки судовых поршней из алюминиевых сплавов. В ходе выполнения раздела рассмотрены особенности функционирования производственного участка при реализации проектной технологии, составлен перечень, выполнен анализ опасных и вредных производственных факторов, действие которым может негативно сказаться на состоянии и здоровье персонала предприятия. Эффективные средства, обеспечивающие нейтрализацию негативных факторов, предложены и проанализированы с точки зрения их эффективности при применении на рассматриваемом производственном участке. Показано, что предлагаемые меры являются стандартными для современного предприятия. Разработки специальных средств защиты персонала от опасных и вредных производственных факторов помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений не требуется.

В настоящем разделе также рассмотрен вопрос обеспечения пожарной безопасности производственного участка, проведена оценка рисков, возникающих при пожаре, предложены меры по обеспечению пожарной безопасности и тушению возникающих пожаров.

Для повышения экологической ответственности производителя выполнена оценка антропогенного действия производственного участка на окружающую среду, составлен перечень мероприятий, позволяющих повысить экологичность рассматриваемого промышленного объекта, значительно уменьшить нагрузку на окружающую среду со стороны предприятия.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические и организационные решения могут быть реализованы на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

В настоящей выпускной квалификационной работе представлена технологи и описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности ремонтной сварки судовых поршней. Предыдущие разделы выпускной квалификационной работы содержат анализ исходных данных и предварительный анализ известных решений, постановку задач на выполнение работ приведены в аналитическом разделе. На основании критического анализа известных решений обоснован выбор наиболее эффективного способа ремонтной сварки. Также описываются решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа, приведено описание операций с применением достижений отечественных разработчиков сварочного оборудования. Настоящий раздел является оценочным и предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на современном предприятии, для чего необходимо выполнить сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. 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, объем капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта [18].

Таблица 9 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	Цоб	руб.	300 тыс.	800 тыс.
Мощность оборудования	Муст	кВт	12	20
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,85	0,85
Площадь под оборудование	S	м ²	40	40
Разряд работников	Рр	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	200	200
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей» [12]	Цпл	Р/м ²	30000	30000

Таблица 10 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

Показатель	Обозн.	Единицы измерения	Значение
«Коэффициент доплат к основной заработной плате	К _{осн}	%	12
Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	К _{доп}	-	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	К _{сн}	%	34
Коэффициент выполнения нормы	К _{вн}	-	1,03
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	К _{т-з}	%	5
Цена электрической энергии для предприятия	Цэ-э	Р/ кВт	4,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	К _{мон} К _{дем}	%	3 5
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5
Норма амортизации оборудования	К _а	%	21,5
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33
Коэффициент цеховых расходов	К _{цех}	-	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	К _{зав}	-	1,15

Главным отличием проектной технологии по сравнению с базовым вариантом, является 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, доказательством чего послужат последующие расчёты.

4.2 Фонд времени оборудования

При расчётном определении основных параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_э$. 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 $F_э$ оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году D_p , которое в настоящий момент принимается равным $D_p=277$. При расчётном определении фонда времени работы оборудования «следует учитывать уменьшение продолжительности смены в предпраздничные дни, которое составляет $T_{п}=1$ час для количества праздничных дней $D_{п}=7$ дней. Стандартная продолжительность рабочей смены принимается равной $T_{см}=8$ часов. С учётом представленных исходных данных рассчитывается номинальный фонд рабочего времени» [18] F_n

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

Эффективный фонд времени $F_э$ 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

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

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 необходимы сведения по особенностям выполнения операций базовой технологии, которые были «представлены в первом разделе выпускной квалификационной работы, и сведения по особенностям выполнения операций проектной технологии, которые были представлены» [18] во втором разделе. Главной составляющей штучного времени служит машинное время $t_{маш}$, значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется $t_{маш}=10$ часов, проектный вариант характеризуется $t_{маш}=7$ часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время $t_{всп}$ в размере 10 % от $t_{маш}$. В случае реализации базовой технологии $t_{всп}=1$ час, в случае реализации проектной технологии $t_{всп}=0,7$ 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 $t_{обсл}=0,5$ часа. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать $t_{обсл}=0,35$ 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 $t_{отд}=0,5$ часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают $t_{отд}=0,35$ 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 $t_{пз}=0,1$ часа для базового варианта и $t_{пз}=0,07$ 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 $t_{шт}=1:21$ часа при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени $t_{шт}=0:87$ 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 $\Pi_{г}$ может быть вычислена исходя из ранее определенного фонда времени работы оборудования $F_{э}$ и штучного времени» [18] $t_{шт}$

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

Таким образом, может быть выполнено расчётное определение годовой программы $\Pi_{г}$, которая для базового варианта составляет $\Pi_{г}=2054/1:21=1700$ изделий. Годовая программа при реализации проектного варианта составляет $\Pi_{г}=2054/0:87 = 2425$ изделия. Для обеспечения действительной потребности производства необходимо значение годовой программы $\Pi_{г}=1000$ изделий, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса.

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение $n_{расч}$, для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы $\Pi_{г}$, эффективного фонда времени $F_{э}$ и штучного времени $t_{шт}$. Также в расчётах применяется коэффициент

выполнения нормы $K_{вн}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Для базового варианта $n_{расч.} = 1:21 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,57$. Для проектного варианта $n_{расч.} = 0:87 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования $n=1$, поэтому определим коэффициент загрузки

$$K_3 = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет $K_3=0,57/1=0,57$. При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет $K_3=0,4/1=0,4$.

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 $C_{зав}$, определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость $C_{тех}$. 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, «учитывающая цену материала Π_m , нормы расхода материалов N_p . Также для расчётов используется коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных» [18]:

$$M = \Pi_m \cdot N_p \cdot K_{т-з}. \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере $M = (80 \cdot 0,0252 + 130 \cdot 0,414 + 3000 \cdot 0,000495) \cdot 1,05 = 60$ рублей. В проектном технологическом процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют $M_1 = (80 \cdot 0,0216 + 130 \cdot 0,342 + 3000 \cdot 0,000468) \cdot 1,05 = 50$ рублей.

Далее следует выполнить расчёт фонда заработной платы ФЗП, который определяется исходя из размеров основной заработной платы $Z_{осн}$, которая в свою очередь зависит от тарифной ставки $C_ч$, штучного времени $t_{шт}$. Также для расчётов необходим коэффициент доплат $K_д$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_д. \quad (8)$$

Базовый технологический процесс предусматривает размер основной заработной платы $Z_{осн} = 300 \cdot 1,21 \cdot 1,88 = 682$ рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит $Z_{осн} = 300 \cdot 0,847 \cdot 1,88 = 478$ рублей.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы $Z_{доп}$. Для расчётов понадобится значение основной заработной платы $Z_{осн}$. Также для расчётов необходим коэффициент дополнительных доплат $K_{доп}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Размер коэффициента дополнительных доплат принимается из таблицы исходных данных $K_{доп} = 0,12$. Так как базовый вариант технологии предполагает основную заработную плату $Z_{осн} = 682$ рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных $Z_{доп} = 682 \cdot 0,12 = 82$ рублей. Так как проектный вариант предполагает основную заработную плату $Z_{осн} = 478$ рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных $Z_{доп} = 478 \cdot 0,12 = 57$ рублей.

Для оценки размеров фонда заработной платы выполняется суммирование основной и дополнительной заработных плат. Таким образом, для базового варианта $\Phi ЗП = 682 + 82 = 764$ рублей, для проектного варианта $\Phi ЗП = 478 + 57 = 535$ рублей.

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

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение $\Phi ЗП = 764$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}} = 764 \cdot 34 / 100 = 260$ рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено $\Phi ЗП = 535$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}} = 535 \cdot 34 / 100 = 182$ рублей.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ понадобится значение стоимости оборудования $\Pi_{\text{об}}$ из таблицы исходных данных. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_{\text{э}} = 2054$ часа. Значение нормы амортизации $N_{\text{а}}$ принимается из таблицы исходных данных $N_{\text{а}} = 21,5 \%$. Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных $A_{\text{об}} = 300000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 2054 / 100 = 38$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,847 / 2054 / 100 = 71$ рублей.

Ещё одной статьёй расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на

электрическую энергию $P_{\text{ээ}}$. Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии $\Pi_{\text{эл}}$, которая из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{\text{эл}}=4,7$ руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,85. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет $M_{\text{уст}}=12$ кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет $M_{\text{уст}}=20$ кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{\text{ээ}} = M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \Pi_{\text{эл}} / \text{КПД}. \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии $P_{\text{ээ}}=10 \cdot 1,21 \cdot 4,7 / 0,85 = 67$ рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере $P_{\text{ээ}}=10 \cdot 0,847 \cdot 4,7 / 0,85 = 47$ рубля.

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

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

при реализации базового технологического процесса принимаем значение $Z_{\text{об}}= 38 + 67 = 105$ рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение $Z_{\text{об}}= 71 + 47= 118$ рубля. Повышение затрат на оборудование при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом объясняется применением более прогрессивного сварочного оборудования. Получение экономического эффекта ожидается за счёт других статей расходов и составляющих технологической себестоимости.

С учётом исходных данных затраты на обслуживание площадей составляют при реализации базового технологического процесса и проектного технологического процесса $Z_{\text{пл}}=40$ рублей и 29 рублей.

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

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сн}} + З_{\text{об}} + З_{\text{пл}}. \quad (14)$$

Реализация базовой технологии характеризуется $C_{\text{тех}} = 60 + 764 + 260 + 105 + 40 = 1229$ рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью $C_{\text{тех}} = 50 + 535 + 182 + 118 + 29 = 914$ рубля.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 22. Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин.

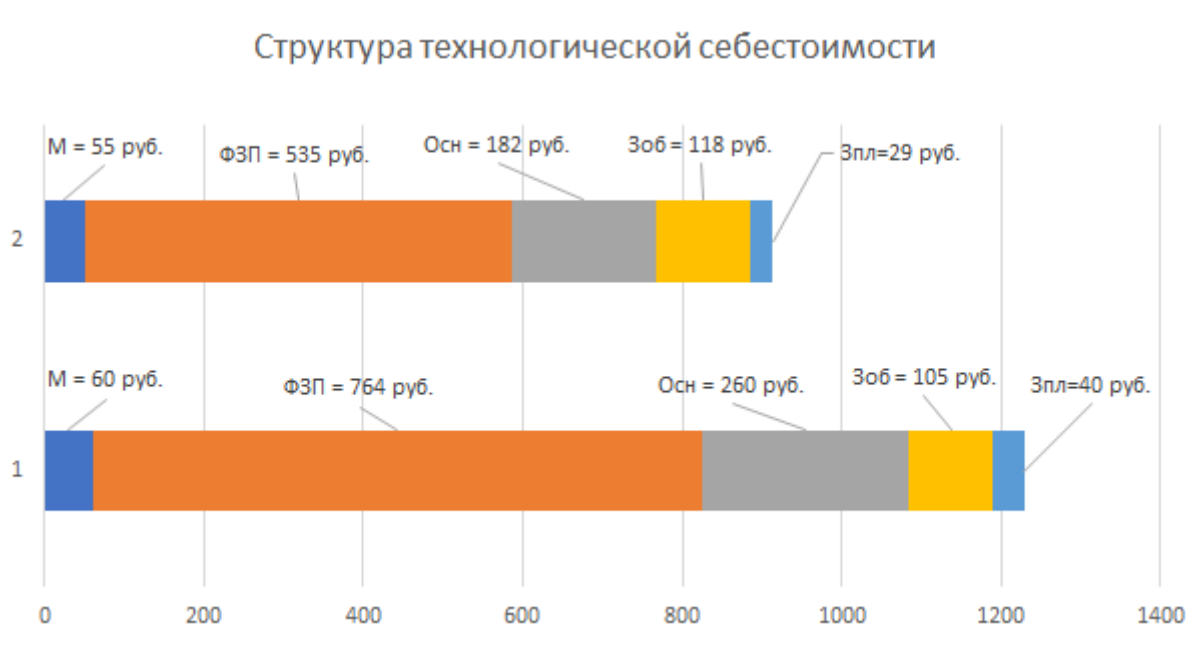


Рисунок 22 – Структура технологической себестоимости

Расчёт «цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ ведется с учётом основной заработной платы $З_{\text{осн}}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}} = 1,5$:

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии $C_{\text{цех}} = 1229 + 1,5 \cdot 682 = 1229 + 1023 = 2252$ рублей, для проектного варианта $C_{\text{цех}} = 914 + 1,5 \cdot 478 = 914 + 717 = 1631$ рублей.

Расчёт заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}} = 1,15$:

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

Согласно (16) $C_{\text{зав}} = 2252 + 1,15 \cdot 682 = 2252 + 784 = 3036$ рублей для базовой технологи и $C_{\text{зав}} = 1631 + 1,15 \cdot 478 = 1631 + 550 = 2181$ рублей» [18] для проектной технологии.

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 4, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 23.

Таблица 4 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	60	50
2. Фонд заработной платы	ФЗП	764	535
3. Отчисления на соц. нужды	О _{сн}	260	182
4. Затраты на оборудование	З _{об}	105	118
5. Затраты на площади	З _{пл}	40	29
6. Технологическая себестоимость	С _{тех}	1229	914
7. Цеховые расходы	Р _{цех}	1023	717
8. Цеховая себестоимость	С _{цех}	2252	1631
9. Заводские расходы	Р _{зав}	784	550
10. Заводская себестоимость» [19]	С _{зав}	3036	2181

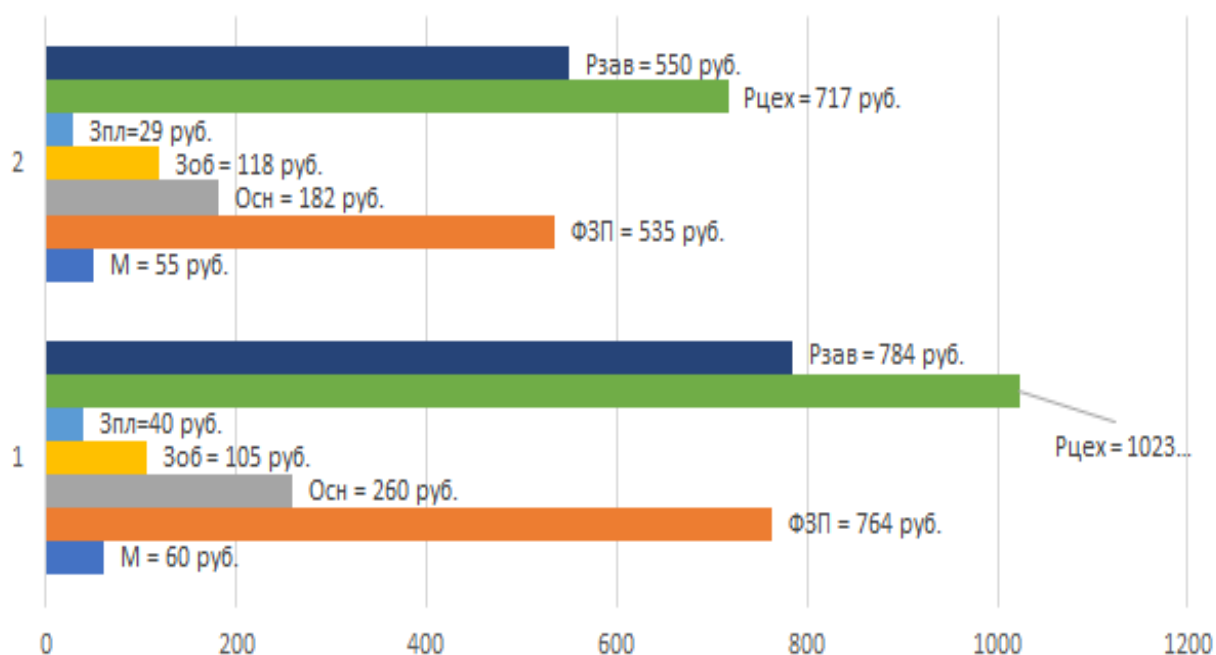


Рисунок 23 – Состав заводской себестоимости

Как показывает численный и графический анализ, при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом наблюдается уменьшение технологической и заводской себестоимости, что позволяет предполагать получение положительного экономического эффекта при внедрении в производство предлагаемых решений. показатели экономической эффективности будут рассчитаны далее с учетом капитальных вложений.

4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы $T_{\text{сл}}=3$ лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет $C_{\text{перв}}=300000$ рублей. С учётом нормы амортизации H_a стоимость оборудования по базовому варианту может быть вычислена как

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

Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет $\Pi_{об.б.} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 106500$ рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования K_3 , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{3,б} = 106500 \cdot 0,57 = 60705 \text{ рублей.} \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование $K_{об.пр}$ вычисляются с использованием ранее определенного коэффициента загрузки оборудования $K_3 = 0,4$, принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз} = 1,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.пр.} = 800000$ рублей:

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{пл. пр.} + K_{соп.} \quad (19)$$

$$\text{Получаем } K_{об.пр} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,40 = 336000 \text{ рублей.}$$

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

$$R_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_{д} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

При вычислении расходов $R_{мон}$ на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной технологии, необходимо учесть цену оборудования $\Pi_{об.пр}$ и коэффициента расходов на монтаж $K_{м}$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$R_{монт} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{м} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 15000 + 40000 = 65000. \quad (22)$$

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 $K_{\text{соп}}$

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 336000 + 65000 = 401000 \text{ рублей} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 401000 - 60705 = 340295 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

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

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 60705 / 1000 = 60,7$ рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 401000 / 1000 = 401$ рублей.

4.6 Расчёт экономических показателей

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как «снижение трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$, повышение производительности труда $P_{\text{т}}$, снижение технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$, условно годовую экономию

$\Delta t_{\text{шт}}$, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ и годовой экономический эффект Δ_r » [13].

При определении снижения трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$ в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени $t_{\text{шт}}$ в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается $t_{\text{шт б}}=12,1$ часа и $t_{\text{шт пр}}=8,7$ часа для реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} = (12,1 - 8,7) \cdot 100 \% / 12,1 = 30 \%. \quad (26)$$

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

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{\text{шт}} / (100 - \Delta t_{\text{шт}}) = 100 \cdot 30 / (100 - 30) = 43 \%. \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ 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 $C_{\text{тех.б}}=1229$ рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается $C_{\text{тех.пр}}=914$ рубля

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б}} - C_{\text{тех.пр}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б}} = (1229 - 914) \cdot 100\% / 1229 = 26 \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии $\Delta_{\text{уг}}$ следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу $P_r=1000$. Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается $C_{\text{зав.б}}=3036$ рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается $C_{\text{зав.пр}}=2181$ рубля

$$\mathcal{E}_{\text{yr}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (3036 - 2181) \cdot 1000 = 855000 \text{ рублей.} \quad (29)$$

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

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{yr}} = 340295 / 855000 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

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

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{yr}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 855000 - 0,33 \cdot 340295 = 742702 \text{ рубля.} \quad (31)$$

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.

Выводы по экономическому разделу

Для представленных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений выполнено экономическое обоснование. Ожидается

снижение трудоёмкости на величину $\Delta t_{шт} = 30\%$ и повышение производительности труда на величину $P_T = 43\%$.

Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить такую составляющую технологической и заводской себестоимости, как фонд заработной платы. Кроме того, повышение производительности труда позволяет уменьшить значение коэффициента загрузки оборудования, что положительно сказывается на амортизационных отчислениях. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет $\Delta C_{тех} = 26\%$.

Так как наблюдается уменьшение технологической себестоимости и повышение производительности труда, происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости. В результате этого возникает условно-годовая экономия в размере $\mathcal{E}_{уг} = 855$ тысяч рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере $K_{доп} = 340$ тысяч рублей, срок окупаемости которых составляет 0,3 года.

При реализации предлагаемых изменений на рассматриваемом производственном участке годовой экономический эффект $\mathcal{E}_r = 742,702$ тысяч 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, повышение производительности и эффективности ремонтной сварки позволяет выполнять восстановление поршней судовых двигателей не только в пределах предприятия, но и принимать заказы со сторонних предприятий. На основании производственного участка может быть организован центр по проведению восстановительных работ деталей судовых двигателей.

Заключение

Представленная выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности ремонтных предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по восстановлению деталей судовых двигателей с применением сварочных технологий. В качестве типовой детали рассматривается поршень судового двигателя. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

При решении первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор сварки сжатой дугой постоянным током обратной полярности, применение которой при построении проектной технологии обеспечит повышение эффективности предприятия. Полученный результат может быть перенесен на большинство ремонтных предприятий.

При решении второй задачи применяется конструкция плазматрона, предложенная отечественными разработчиками сварочного оборудования. Для того, чтобы обеспечить высокую стойкость вольфрамового электрода при сварке на постоянном токе обратной полярности предлагается применить комбинированный способ сварки. 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.

В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология ремонтной сварки при восстановлении поршней судового двигателя. Обоснован выбор параметров режима, составлены требования для выполнения операций технологического процесса, выбрано оборудование.

При выполнении экологического раздела получены сведения, позволяющие заключить, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Применение на производственном участке предлагаемых решений позволяет повысить производительность труда на 43 % и снизить трудоемкость на 30 %. Так как проектный вариант обеспечивает уменьшение ряда составляющих технологической себестоимости, она уменьшается на 26 %. За счёт уменьшения основной заработной платы снижается размер цеховых и заводских расходов, что в совокупности с уменьшением технологической себестоимости приводит к условно-годовой экономии 855 тысяч рублей. Проведенные расчёты показали, что в случае, если на рассматриваемом производственном участке будут реализована проектная технология, годовой экономический эффект составит 742,7 тысяч рублей.

Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений. Повышение производительности и эффективности ремонтной сварки позволяет выполнять восстановление поршней судовых двигателей не только в пределах предприятия, но и принимать заказы со сторонних предприятий.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Апчел В. Н., Слободянюк И. М., Молодцов Н. С. Повышение долговечности головок поршней судовых дизелей путем упрочнения плазменной наплавкой при ремонте. // Судовые энергетические установки: науч-техн. сб. 2014. Вып. 35. Одесса: ОНМА. С. 80–86.
2. Белинин Д. С. Щицын Ю. Д. Перспективы применения плазменной дуги обратной полярности для исправления литейных дефектов из сплава АК7Ч // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2021. № 1. С. 74–81.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Бондарев А.А. Технология ремонта изношенных поршней // Сварщик. – 1999. – № 6. – С. 17.
5. Веселков В. В., Афанасьев Н. А., Жмуренков А. Г. Разработка высокопроизводительных технологий лазерной сварки и наплавки для современного судостроения // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2017. № 1. С. 143–156.
6. Воропай Н. М., Лесных В. В., Мишенков В. А. Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным – неплавящимся и плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1996. № 6. С. 21–25.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Ельцов В.В. Объект исследований — трехфазная сварочная дуга // Сборник трудов к 40-летию кафедры ОТСП и 75-летию В.И. Столбова ; под ред. В. В. Масакова, В.П. Сидорова. - Тольятти : ТГУ, 2007. - С. 105-116.
9. Ельцов В. В., Матягин В. Ф. Ремонтная сварка и наплавка изделий из легких сплавов : учеб. пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 215 с.

10. Ельцов В. В., Потехин В. П., Зеленков А. С. Формирование сварочной ванны при наплавке трехфазной дугой неплавящимися электродами с подачей присадочной проволоки // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 12. С. 2-6.
11. Ермолин С. А., Тарасов А. С. Технологические возможности инверторных источников питания для механизированной дуговой сварки // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 42–46.
12. Зайцев О. И. Прогнозировании параметров режима при импульсно-дуговой сварке алюминиевых сплавов : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Олег Игоревич Зайцев ; Тульский государственный университет. Тула, 2003.
13. Зусин В. Я., Вайнер Г. Н., Черпованов В. Н. Восстановление канавок алюминиевых поршней тракторных двигателей импульсно-дуговой наплавкой в среде защитных азотов // Сварочное производство. 1982. № 11. С. 37–38.
14. Камкин, С.В. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок / С.В. Камкин, И.В. Возницкий, В.Ф. Большаков. – М.: Транспорт, 1996. – 422 с.
15. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1.
16. Костин А. К., Борисов В. И. Износ и ресурс деталей ЦПГ судовых двигателей в эксплуатационных условиях. // Двигателестроение. 1984. №7. С. 20–25.
17. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18–23.
18. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

19. Короткова, Г.М. Динамические характеристики дуги переменного тока при сварке алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 1984. № 11. С.-30-32.
20. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335 с.
21. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
22. Ленчук Е. Б. Научно-экономическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52–60.
23. Макаренко, Н.А. Плазменно-дуговая наплавка силуминовых поршней двигателей внутреннего сгорания / Н.А. Макаренко – Труды 9-й Международной научно-практической конференции «Организация и технологии ремонта машин, механизмов, оборудования». – Киев. – 2007. – С. 67.
24. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. № 11. 2014.
25. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
26. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
27. Патент 2495735 РФ МПК В23К 10/02 Способ плазменной сварки плавящимся электродом / Ю. Д. Шицын, В. Ю. Щицын. Заявл. 06.10.2011. Оpubл. 20.04.2013, Бюл. № 29. 7 с.
28. Пашкин А. Н., Браверман В. Я. Развитие и перспективы применения трехфазной сварки // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. № 1. С. 427-429.

29. Покляцкий А. Г., Лозовская А. В., Гринюк А. А. Предотвращение образования оксидных плен в швах при сварке литийсодержащих алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 45–48.
30. Рабкин Д. М., Игнатьев В. Г., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев : Изд-во "Наукова думка", 1983. 80 с.
31. Рабкин Д. М., Лозовская А. В., Склабинская И. Е. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. Киев : Наукова думка, 1992. 160 с.
32. Резниченко А. Наука под санкциями: пора просыпаться / А. Резниченко // Эксперт. 2022. № 11. С. 76–79.
33. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М. : Машиностроение, 1987. 187 с.
34. Слободянюк И. М., Молодцов Н. С. Повышение надежности восстановленных головок поршней судовых дизелей путем повышения их эксплуатационных свойств при ремонте // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. 2005. № 14. Одесса: ОНМА. С. 127-133.
35. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
36. Столбов В. И., Шаповалов В. А., Цепенев Р. А. Об управлении сварочным током в источниках питания трехфазной дуги // Сварочное производство. 1982. №10. С. 24-25.
37. Сторожев В. П. Причины и закономерности постепенных отказов основных триботехнических объектов энергетической системы судна и повышения их ресурса. Одесса, 2001. 341 с.
38. Чудинов, Б.А. Упрочнение верхней поршневой канавки поршней двигателей внутреннего сгорания ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти, 2004 г. 13–16 апр. / Б.А. Чудинов, В.Ф. Жмиевский // Материалы 6-й Междунар. практ. конф.-выставки, С.-Пб., Альфаред, 2004. – С. 89–90.
39. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИНУ. 2015. № 2. С. 5-12.

40. Щицин Ю. Д., Синани И. Л., Белинин Д. С., Неулыбин С.Д. Совершенствование технологий плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и сложнoleгированных сплавов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 427–431.
41. Cooper G., Palermo J., Browning J.A. Recent Developments in Plasma Welding // Welding Journal. 1965. № 4. P. 268–276.
42. Mario H., Hirata Yo, Makino H. Rectangular wave AC TIG arc welding of aluminum alloy // Quarterly journal of JWS. 1989. № 7. С. 63–69.
43. Na, J. Effect of aging on mechanical properties and localized corrosion behaviors of Al-Cu-Li alloy // Trans. Nonferrous Metal. Soc. China. 2005. № 1. P. 23–29.
44. Tian C. Effect of melt cleanliness on the formation of porosity defects in automotive aluminum high pressure die castings // Journal of Materials Processing Technology. 2002. Vol. 122. № 1. P. 82–93.
45. Wu C.S., Wang L., Ren W.J., Zhang X.Y. Plasma arc welding: Process, sensing, control and modeling // Journal of Manufacturing Processes. 2014. № 16. P. 74–85.