



## Аннотация

Основным технологическим процессом при изготовлении и ремонте деталей из алюминиевых сплавов является сварка, которая при своём осуществлении встречает значительные трудности, большая часть из которых в настоящий момент до конца не преодолена.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности сварочных технологий при ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить анализ альтернативных способов сварки и обосновать выбор способа сварки применительно к ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- составить проектную технологию ремонтной сварки.

На основании экспертной оценки альтернативных способов ремонтной сварки принято решение построение проектной технологии ремонтной сварки выполнять на базе сварки трёхфазной дугой.

Была составлена проектная технология ремонтной сварки, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,742 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,4 года.

## **Abstract**

The title of the graduation work is « Elimination of defects in aluminum parts».

The main technological process in the manufacture and repair of parts made of aluminum alloys is welding. In its implementation, it encounters significant difficulties, most of which are currently not fully overcome.

The aim of the work is to increase the productivity of welding technologies in the repair of parts made of aluminum alloys.

The following tasks have been solved:

- analyze alternative welding methods and justify the choice of welding method in relation to the product under consideration;
- draw up a design welding technology.

Based on an expert assessment of alternative methods of repair welding, it was decided to build a design technology for repair welding on the basis of three-phase arc welding. The design technology of repair welding was drawn up, the parameters of the welding mode and the equipment used were assigned.

The analysis of the design technology of repair welding for the presence of dangerous and harmful production factors is performed.

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 0,742 million rubles.

## Содержание

Введение .....	6
1 Современное состояние устранения дефектов алюминиевых деталей. ....	8
1. Описание типовой детали автомобиля из алюминиевого сплава .....	8
1.2 Сведения о материале изделия .....	9
1.3 Сведения о технологии ремонтной сварки .....	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	18
2 Проектная технология ремонтной сварки при устранении дефектов деталей из алюминиевых сплавов. ....	19
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки. ....	19
2.2 Подготовительные операции. ....	23
2.3 Описание сварочных операций. ....	25
2.4 Оборудование для проведения ремонтной сварки изделий из алюминиевых сплавов .....	28
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	31
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	32
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	35
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	37
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. ....	39
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений .....	39
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования .....	41
4.3 Расчет штучного времени .....	42

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	44
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	48
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	51
Заключение . . . . .	54
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	55

## Введение

При изготовлении деталей машин всё большее распространение получают алюминиевые сплавы, которые благодаря соотношению прочностных свойств и лёгкости расширяют область применения и начинают вытеснять конструкционные стали и чугуны. Алюминиевые сплавы обладают уникальным сочетанием свойств: относительно высокая прочность, малая плотность, хорошая коррозионная стойкость, что делает их применение в изготовлении деталей машин весьма перспективным [5], [29], [33].

Основным технологическим процессом при изготовлении и ремонте деталей из алюминиевых сплавов является сварка, которая при своём осуществлении встречает значительные трудности, большая часть из которых в настоящий момент до конца не преодолена [12], [13], [24], [31]. Возникновение трудностей при сварке алюминиевых сплавов связано с особенностями их физических и химических свойств. Из-за высокой теплопроводности алюминиевых сплавов возникают значительные остаточные напряжения и деформации, которые приводят к короблению конструкции и повышают вероятность образования трещин. Значительный коэффициент термического расширения, в несколько раз превышающий коэффициент термического расширения сталей, также оказывает негативное влияние на коробление конструкций и трещины в них. Наличие на поверхности детали тугоплавкой окисной плёнки, которая тяжелее расплавленного металла и тонет в нём, приводит к загрязнению сварного шва и существенно снижает его прочностные характеристики. Также следует принимать во внимание растворимость газов в расплавленном алюминии, что вызывает образование пор. Кроме того, алюминиевые сплавы характеризуются провалом прочности при нагреве, что приводит к нестабильности формы сварного шва и образованию горячих трещин.

Из-за описанных трудностей прочность сварного шва при изготовлении и ремонте деталей машин из алюминиевых сплавов обычно не превышает

60...70 % от прочности основного металла [4], [22], [25]. В связи с этим остаётся актуальным вопрос повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении и ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

Получение качественного сварного соединения на деталях из алюминиевых сплавов предусматривает использование концентрированных источников нагрева в зоне сварки, которые позволяют эффективно разрушать окисную плёнку на поверхности изделия. Самым применяемым способом является сварка в аргоне неплавящимся электродом на переменном токе, качество выполнения сварных швов этим способом сварки существенно превышает качество сварки при других дуговых способах сварки [12], [13].

Необходимость обеспечения запасными деталями различного технологического оборудования предполагает привлечение значительных материальных и трудовых затрат. При этом количество ремонтнопригодных деталей достигает 75 % от общего числа заменяемых деталей, что позволяет получить значительную экономию при переходе от покупки новых деталей к использованию ремонтных технологий [7], [14]. Таким образом, вторичное использование изношенных деталей машин после того, как они прошли капитальный ремонт, является резервом для повышения эффективности промышленности Российской Федерации. Ремонт детали требует существенно меньших затрат металла и энергии по сравнению с изготовлением новой детали. Кроме того, приобретение и доставка новой детали требует затрат времени, а реализация технологии ремонта позволяет этого избежать. На основании этого можно заключить, что ресурсосбережение должно двигаться в направлении повышения эффективности ремонтных технологий деталей из алюминиевых сплавов.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности сварочных технологий при ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

# 1 Современное состояние устранения дефектов алюминиевых деталей

## 1.1 Описание типовой детали автомобиля из алюминиевого сплава

Головка блока цилиндров для двигателя ЗМЗ-406, представленная на рисунке 1, отливается из алюминиевых сплавов и имеет клиновидные камеры сгорания. В процессе работы на головке блока цилиндров образуются дефекты, без устранения которых дальнейшее использование двигателя приведёт к его серьёзной поломке. Такими дефектами являются трещины системы охлаждения треугольных окон, трещины между клапанными седлами, трещины между седлами выпускных клапанов и свечной резьбой, трещина между рубашкой охлаждения и клапаном, сорванная свечная резьба, трещины в рубашке охлаждения между цилиндрами, прогар привалочной плоскости, трещины между крепёжными болтами, съеденное некачественным тосолом треугольное отверстие системы охлаждения, трещины вблизи отверстий под шпильку.

Выявление дефектов головки блока цилиндров выполняется внешним осмотром, при этом для устранения дефектов применяется сварка и наплавка.

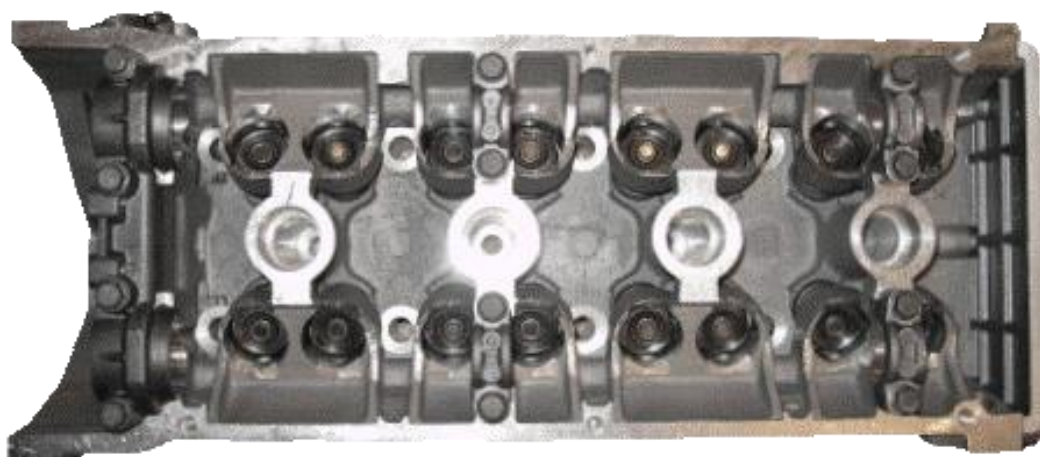


Рисунок 1 – Головка блока цилиндров





Рисунок 2 – Дефекты головки блока цилиндров: прогар привалочной плоскости (а), трещина вблизи клапанных гнёзд (б, в), трещина вблизи шпилек (г), трещина между гнёздами (д), трещина около седла (е)

## 1.2 Сведения о материале изделия

Головка блока цилиндров отливается из сплава АК12М или АК9ч, состав которых представлен в таблице 1. Основа сплава – алюминий, содержание которого составляет 86,94...91,63% для сплава АК9ч и

81,55...86,60 для сплава АК12М. Алюминий обеспечивает лёгкость конструкции.

Кремний является основным легирующим элементом сплавов АК12М и АК9ч, который позволяет увеличить высокую текучесть и низкую усадку при отливке изделия. Также кремний улучшает свариваемость изделий из алюминиевых сплавов. Однако следует принимать во внимание, что увеличение содержания кремния в алюминиевом сплаве приводит к снижению его коррозионной стойкости.

Магний увеличивает прочность сплава.

Медь увеличивает пластичность алюминиевых сплавов, но, как и кремний, снижает их коррозионную стойкость.

Цинк увеличивает прочность изделий из алюминиевых сплавов, однако стойкость сплава по отношению к воздействию концентрированными щелочами снижается, что объясняется каталитическим действием цинка в реакции взаимодействия оксидов алюминия и щелочей.

Железо повышает прочность изделий из алюминиевых сплавов.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в алюминиевых сплавах, используемых для изготовления головки блока цилиндров

Сплав	Si	Mn	Ni	Fe	Ti	Cu	Mg	Zn	Pb	Sn
АК12М	11-13	<0,5	<0,3	-	<0,2	1,8-2,5	<0,8	<0,8	<0,15	<0,1
АК9ч	8-10,5	0,2-0,5	<0,1	<1	-	<0,3	0,17-0,3	<0,3	<0,05	<0,01

Особенности алюминиевых сплавов по сравнению с низкоуглеродистыми сталями обуславливают трудности их сварки [25], [32]. Первая трудность возникает из-за наличия на поверхности свариваемых деталей и сварочной проволоки тугоплавкого окисла  $Al_2O_3$ . Температура плавления этого окисла достигает 2050 °С, что существенно превышает температуру плавления алюминия (660 °С). В результате такой разницы температур плавления основного металла и окисной плёнки происходит

загрязнение металла сварочной ванны частицами пленки. Кроме того, эти частицы тяжелее расплавленного алюминия, поэтому тонут в расплавленном металле, загрязняя его.

Вторая трудность связана с катастрофической потерей прочности алюминиевого сплава при его нагреве. В результате этого происходит «проваливание» сварочной ванны под собственным весом, расплавленный алюминий начинает протекать в зазор или через корневой слой шва.

Третья трудность сварки алюминиевых сплавов связана с повышенным по сравнению со сталями коэффициентом линейного расширения. Это вызывает увеличенные деформации при сварке конструкций из алюминиевых сплавов.

Четвертая трудность связана со способностью расплавленного алюминия интенсивно растворять в себе различные газы. В результате при кристаллизации происходит обратное выделение газов и образование пористости, что существенно снижает прочность и пластические свойства сварного соединения.

Пятой трудностью является высокая вероятность получения горячих трещин при сварке алюминиевых сплавов. Это объясняется тем, что металла сварного шва имеет столбчатую структуру, а по границам зёрен выделяется легкоплавкая эвтектика.

Описанные трудности присущи всем способам сварки, которые можно использовать при выполнении конструкций из алюминиевых сплавов. Но следует учитывать, что острота проблемы снижается при переходе на сварку с высокой концентрацией тепловой энергии. Поэтому более предпочтительными являются перспективные способы сварки (в порядке увеличения предпочтения): ручная дуговая сварка – механизированная сварка проволокой в защитных газах – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом – плазменная сварка – лазерная сварка – электронно-лучевая сварка. Особое место среди возможных способов занимает сварка трением с перемешиванием.

Применение традиционных способов сварки при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов позволяет получать сварной шов с прочностными свойствами на 20...35 % меньшими по сравнению с прочностными свойствами основного металла [25], [32].

При ремонтной сварки изделий из сплавов АК12М и АК9ч в сварном шве могут образовываться горячие трещины. Причиной возникновения горячих трещин является грубая столбчатая структура металла сварного шва, по границам которой выделяется легкоплавкая эвтектика. Причиной горячих трещин при сварке сплавов АК12М и АК9ч является также значительная литейная усадка, что приводит к возникновению растягивающих напряжений в момент кристаллизации металла сварного шва. Для борьбы с горячими трещинами используют специальные элементы-модификаторы, которые улучшают структуру металла сварного шва.

При выполнении ремонтной сварки изделий из сплавов АК12М и АК9ч следует принимать во внимание высокую склонность к растрескиванию металла сварного шва в кратере при окончании сварки. Это объясняется значительным термическим расширением алюминия при сварке и быстрым сужением по окончании сварки. В процессе кристаллизации металла на поверхности кратера происходит образование значительных растягивающих напряжений и растрескивание. Чтобы избежать растрескивания металла в кратере, следует придавать сварным швам выпуклую форму, это позволяет частично компенсировать растягивающие усилия при быстрой кристаллизации металла.

Также следует учитывать, что при выполнении ремонтной сварки изделий из сплавов АК12М и АК9ч прочность сварного шва может существенно варьироваться в зависимости от доли участия присадочного металла в сварном шве. При этом изменяется содержание легирующих элементов и примесей.

### 1.3 Сведения о технологии ремонтной сварки

Сочетание обнаруженных при внешнем осмотре дефектов определяют технологический маршрут, по которому будет выполняться восстановление детали, представленный на рисунке 3. Выбор того или иного технологического маршрута происходит независим от программы восстановления деталей. Следует учитывать, что в случае проектирования специализированных участков по восстановлению деталей достигается максимальный экономический эффект за счёт увеличения производительности и качества выполняемых работ. Это объясняется увеличением загрузки технологического оборудования и повышением эффективности использования производственных площадей.

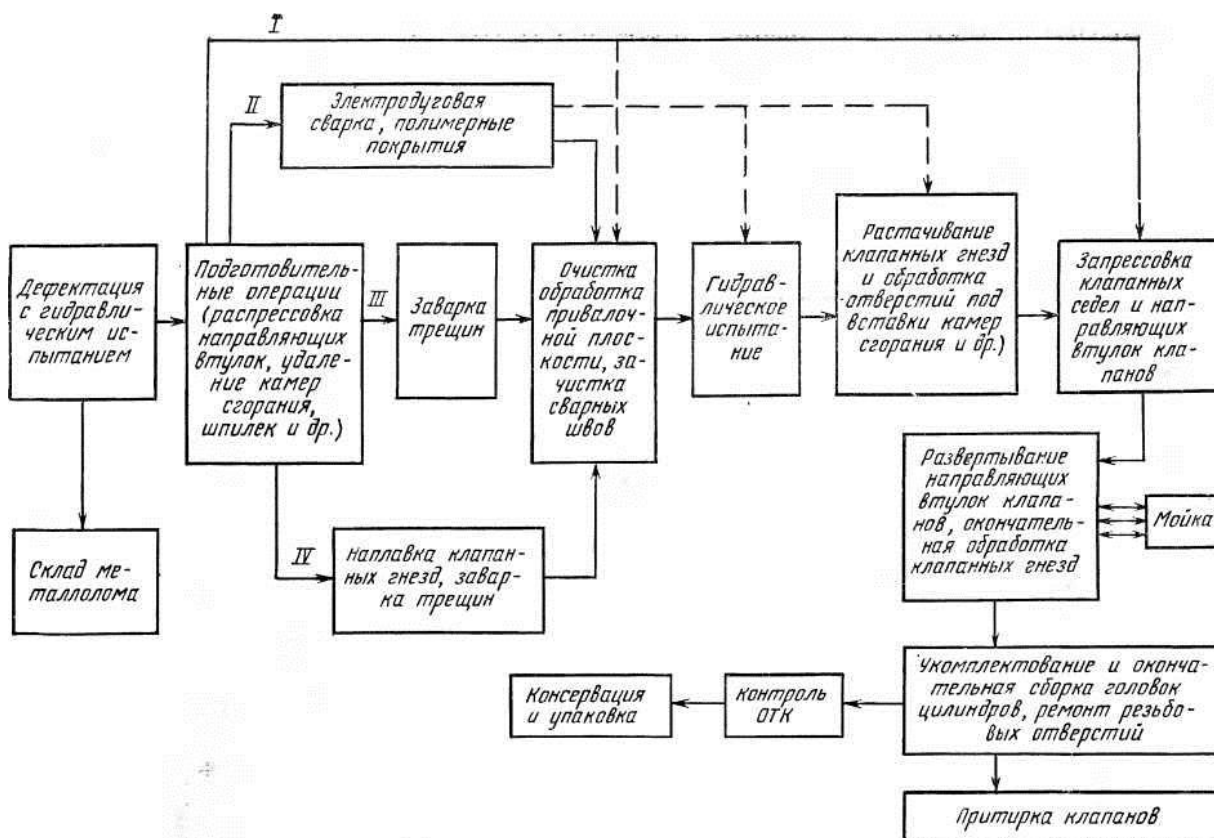


Рисунок 3 – Схема маршрутов технологического процесса восстановления головки цилиндров

Первой операцией технологического процесса восстановления головки блока цилиндров является мойка. Для этого деталь обрабатывают в расплаве

солей и промывают холодной водой. Температура расплава составляет 400 °С, длительность обработки – 12 минут. Состав для обработки применяется такой: едкий натр – 65...70 %, азотнокислый натрий – 25...30 %. Также в расплав солей добавляется хлористый натрий в объёме 5 грамм на 1 литр. После выдержки в расплаве солей деталь промывают проточной водой. После промывки деталь помещают в кислотный раствор, состоящий из ортофосфорной кислоты и хромового ангидрида, концентрация элементов которого составляет 8,5 г/л и 12,5 г/л соответственно. Температура кислотного раствора – 85...90 °С, длительность выдержки в кислотном растворе – 5 минут. Далее деталь промывают в проточной воде.

После промывки выполняют опрессовку головки блока цилиндров, которая позволяет выявить сквозные трещины и наличие трещин в скрытых полостях, которые было бы трудно обнаружить при помощи внешнего осмотра. Головку блока цилиндров устанавливают на подставку, при помощи металлической щётки удаляют нагар с поверхности выпускных каналов и со стенок камер сгорания. Далее подают внутрь головки воду под давлением 5 кгс/см<sup>2</sup> и наблюдают в течение 2-х минут, протекает ли вода из головки цилиндров. Вместо воды может использоваться сжатый воздух давлением 1,5...2 кгс/см<sup>2</sup>.

Обнаруженные трещины должны быть длиной не более 50 мм. В случае, если обнаружено несколько трещин, их суммарная длина должна быть не более 50 мм. Трещины не должны проходить в камеру сгорания и в водяную полость. В противном случае головка цилиндров восстановлению не подлежит и должна быть забракована.

Поскольку запрессованные в корпус головки цилиндров сёдла клапанов препятствуют проведению разделки и заварки трещины, их следует удалить. Для этого применяется расточной станок. Расточка сёдел выполняется до их полного удаления.

После расточки сёдел начинают разделку трещины. Металл следует выбирать по всей длине трещины. Концы трещины следует засверливать с



использованием сверла диаметром 5 мм, при этом необходимо следить, чтобы центр отверстия находился на расстоянии 3...5 мм от видимого конца трещины. Если трещина сквозная, то её разделку выполняют на всю толщину металла. Если трещина несквозная, то глубина разделки должна превышать глубину залегания трещины на 3 мм.



Рисунок 4 – Операции восстановления головки блока цилиндров: внешний осмотр и поиск дефектов (а), растачивание сёдел (б), разделка трещины (в), заварка трещины (г), запрессовка сёдел (д)

Для сварки применяется источник питания УДГУ-351, представленный на рисунке 5. Для защиты сварочной ванны и нагретого металла применяется

аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79. В качестве неплавящегося электрода используются прутки из лантанированного вольфрама ЭВЛ диаметром 2 или 3 мм.

Поскольку в сплавах АК12М и АК9ч содержится значительное количество легирующих элементов (кремний, медь, магний), то для ремонтной сварки деталей из таких сплавов необходимо применение высоколегированных проволок. В базовой технологии ремонтной сварки применяется проволока СвАК5, состав которой представлен в таблице 3.



Рисунок 5 – Источник питания УДГУ-351

Таблица 2 – Параметры режима ремонтной аргонно-дуговой сварки вольфрамовым электродом деталей из алюминиевых сплавов

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	140...170	4	3	10...12

Таблица 3 – Содержание химических элементов в проволоке СвАК5 [4]

Проволока	Основные компоненты		Примеси, не более			Прочие примеси	Сумма примесей
	Al	Si	Fe	Zn+Sn	Cu		
СвАК5	Остальное	4,5-6	0,6	0,1	0,2	0,1	1,0



После выполнения ремонтной сварки следует зачистить сварной шов от загрязнений и брызг, после чего осмотреть сам шов, прилегающий основной металл на ширину не менее 20 мм. Косвенным признаком качественно выполненного сварного шва является постоянство его геометрических размеров и мелкая чешуйчатость [23], [28]. Уменьшение размеров сварного шва относительно заданных сигнализирует о наличии дефектов и некачественно выполненной сварке.

Осмотр сварных швов проводят с применением лупы 4...10 кратного увеличения и невооружённым глазом. Для контроля размеров сварных швов применяют универсальный шаблон сварщика. Возможные внутренние дефекты обнаруживают при помощи ультразвукового дефектоскопа УД 2-102, представленного на рисунке 6.



Рисунок 6 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2-102

После ремонтной сварки и контроля качества излишки наплавленного металла удаляют с посадочных мест поверхности сёдел, растачивая их с небольшим припуском по наружному диаметру. Подбор сёдел соответствующего диаметра выполняют по результатам замера расточенных отверстий. Если в процессе сварки произошло искривление плоскости разъёма «головка-блок цилиндров», это искривление следует удалить при помощи фрезерования. При этом следует учитывать опасность столкновения клапанов с поршнем при работе двигателя из-за изменения высоты головки цилиндров. Для устранения этой опасности фаски сёдел клапанов следует занизить или можно подрезать торцы стержней клапанов.

## **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества сварочных технологий при ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

Базовая технология ремонтной сварки предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Недостатками базовой технологии является: малая производительность способа сварки; высокие требования к квалификации сварщика, от способностей которого существенно зависит качество сварки; требуется проведение качественной подготовки поверхности детали и сварочной проволоки.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели.

Первая задача – выполнить анализ альтернативных способов сварки и обосновать выбор способа сварки применительно к ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов.

Вторая задача – составить проектную технологию ремонтной сварки.

Выполнение разделов оценочного блока предусматривает решение следующих задач.

Третья задача – оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал.

Четвёртая задача – оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

## **2 Проектная технология ремонтной сварки при устранении дефектов деталей из алюминиевых сплавов**

### **2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки**

На основании анализа источников научно-технической информации по теме можно выделить несколько дуговых способов, которые могут быть использованы при ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов.

К первому способу следует отнести ручную дуговую сварку покрытым электродом, которую выполняют на постоянном токе обратной полярности. Для ручной дуговой сварки алюминиевых сплавов могут применяться выпрямители, которые имеют падающую характеристику. При ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов получается значительная скорость плавления электрода, поддержание постоянной величины которой затруднительно. Поэтому применяются электроды с диаметром 4 мм и более. Сварку рекомендуется вести в нижнем положении, сварка в вертикальном и потолочном положении практически не применяется из-за трудности удержания металла сварочной ванны. При сварке следует поддерживать как можно более короткую дугу с наклоном электрода  $60...90^\circ$ , который позволяет следить за сварочной ванной. Перед сваркой используют предварительный подогрев газовым пламенем.

Ко второму способу следует отнести сварку неплавящимся электродом в среде инертного газа. В качестве неплавящегося электрода применяют активированный вольфрам (лантанированный или итерированный). В качестве источника нагрева используется электрическая дуга, которая горит между электродом и изделием. Защита сварочной ванны, электрода, присадочной проволоки и перегретого металла обеспечивается инертным газом, который поступает из газового сопла. В качестве защитного инертного газа применяется аргон, гелий или их смесь. Присадочный металл подается в зону сварки вручную. Преимуществами

сварки неплавящимся электродом в инертном газе являются: малая зона термического влияния, высокое качество сварных соединений, хороший внешний вид сварных швов, возможность регулирования состава и свойств сварного шва за счёт изменения доли присадочного металла. В качестве недостатков сварки неплавящимся электродом в инертном газе можно отметить: низкую производительность выполнения сварочных работ; повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

Третьим способом, который может быть применён при ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов, является механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов. Этот способ сварки наиболее эффективен при значительной толщине деталей и обеспечивает высокую производительность по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. Сварку обычно ведут на постоянном токе обратной полярности. Сварка на постоянном токе прямой полярности также возможна, но при ней происходит снижение стабильности горения дуги и увеличивается разбрызгивание металла. Сварка на переменном токе невозможна из-за низкой стабильности горения дуги. При механизированной сварке плавящимся электродом в защитных газах следует обеспечить надёжную подачу алюминиевой электродной проволоки, которая, по сравнению со стальной проволокой существенно мягче. Это приводит к повышению вероятности получения заломов и сминания проволоки механизмом подачи. Также следует учитывать, что сварка плавящимся электродом сопровождается значительно большей пористостью по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. Это объясняется тем, что поры образуются не только в сварочной ванне, но и в каплях расплавленного металла.

Повышение эффективности механизированной сварки алюминиевых сплавов возможно при использовании специальных импульсных аппаратов. Алгоритм работы этих аппаратов предусматривает возможность получения

импульса высокого напряжения на дуге, который разрушает окисную плёнку на поверхности деталей. В процессе формирования каждая сварочная капля проходит несколько стадий, управление которыми позволяет повысить стабильность переноса металла и качество сварного соединения [11], [36], [37]. За счёт импульсного управления переносом металла достигается: существенное снижение разбрызгивания, снижение сварочных напряжений и деформаций, упрощается возбуждение дуги, повышается стабильность горения сварочной дуги, большая концентрация энергии способствует интенсивному разрушению окисной пленки на поверхности деталей и снижению пористости в металле шва, улучшаются условия кристаллизации сварочной ванны, возрастают все показатели качества. Импульсное управление горением дуги и подачей электродной проволоки позволяют повысить эффективность механизированной сварки деталей из алюминиевых сплавов [20].

Четвертым способом ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов является плазменная сварка (сварка сжатой дугой), выполнение которой возможно на постоянном токе обратной полярности. Применение плазменной сварки приводит к повышению производительности, существенно повышает стабильность качества сварных соединений [30], [34], [35]. Кроме того, за счёт высокой концентрации энергии существенно уменьшается зона термического влияния и остаточные напряжения в детали после сварки. Горение дуги при плазменной сварке отличается высокой устойчивостью. В качестве недостатков плазменной сварки следует отметить: значительную нагрузку на сопло плазматрона его ускоренный износ.

Пятым способом ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов является сварка трёхфазной дугой [9], [17]. При сварке с использованием трёхфазной дуги сварочная горелка оснащена двумя вольфрамовыми электродами. К каждому электроду подводится переменный ток от своей фазы, третья фаза подключена к изделию. Таким образом, при сварке

наблюдается горение нескольких дуг. Между электродами горит независимая дуга. Также две дуги горят между электродами и изделием. Такое горение нескольких дуг позволяет существенно повысить устойчивость и производительность процесса сварки.

В качестве преимуществ сварки трёхфазной дугой следует отметить: высокую проплавляющую способность дуги, высокую производительность сварки, эффективное разрушение окисной плёнки на поверхности свариваемых деталей.

В качестве недостатков сварки трёхфазной дугой следует отметить: существенное увеличение веса сварочной горелки, что делает неудобным манипуляции и увеличивает утомляемость сварщика, необходимость качественной очистки поверхности сварочной проволоки от окислов и загрязнений.

На основании предварительного анализа альтернативных способов ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов, для экспертной оценки выбраны следующие способы сварки. Первый способ – ручная дуговая сварка покрытыми электродами; второй способ – механизированная сварка плавящимся электродом в защитном газе, третий – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, четвёртый – сварка трёхфазной дугой. Экспертную оценку способов выполняли по следующим критериям согласно таблицы 4: производительность, качество сварки, стоимость оборудования, условия труда сварщика, мобильность способа, экономичность способа.

На основании выставления экспертных оценок каждому из рассматриваемых способов сварки следует отдать предпочтение сварке трёхфазной дугой, преимуществами которой являются: возможность управления проплавляющей способностью дуги, высокая производительность ремонтной сварки, интенсивное катодное распыление оксидной плёнки, высокое качество сварных швов.

Тепловая мощность трёхфазной дуги может варьироваться в

диапазоне 500...5500 Вт, при этом концентрация тепла больше, чем при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом. Катодное распыление окисного слоя с поверхности детали при сварке трёхфазной дугой происходит более интенсивно. Следует отметить также высокую стабильность горения дуги - при обрыве основной дуги продолжает гореть маломощная межэлектродная дуга, которая облегчает возбуждение дуг, обеспечивает предварительный локальный подогрев детали и освещает зоны ремонтной сварки. Это существенно повышает технологическую универсальность способа.

Таблица 4 – Экспертная оценка альтернативных способов сварки

Критерий экспертной оценки	ручная дуговая сварка покрытыми электродами	механизированная сварка плавящимся электродом в защитном газе	аргонодуговая сварка неплавящимся электродом	сварка трёхфазной дугой
1) производительность	1	4	2	3
2) качество сварки	1	2	3	4
3) стоимость оборудования	4	3	2	1
4) условия труда сварщика	1	2	4	3
5) мобильность способа	4	3	2	1
6) экономичность способа	3	4	2	3

## 2.2 Подготовительные операции

Перед выполнением ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов необходимо тщательно очистить детали и присадочную проволоку, поскольку чистота их поверхностей существенно влияет на качество сварки. С поверхности проволоки необходимо удалить консервационное покрытие, жир, влагу, окисную плёнку и иные загрязнения [4], [25].

На качество ремонтной сварки в значительной мере отрицательно

вливают окисные пленки, которые покрывают поверхность сварочной проволоки и детали. Попадание окисной плёнки в сварной шов приводит к снижению эксплуатационных характеристик, в частности, прочности сварного шва. Образование окисной плёнки на поверхности деталей и сварочной проволоки начинается практически сразу после очистки, при этом восстановление исходной толщины окисной плёнки происходит за несколько дней. Непосредственно перед сваркой необходимо удалить естественно образовавшийся толстый окисный слой с поверхности деталей и проволоки и сформировать тонкий защитный слой окислов, который не будет препятствовать проведению сварки, так как относительно легко удаляется в процессе катодного распыления [4], [25].

Обезжиривание детали перед ремонтной сварки проводят в растворе щелочи NaOH, концентрация раствора составляет 10 %, температура раствора составляет 60...70 °С. Удаление окисных плёнок с использованием такого раствора происходит в течение 2...3 минут. После обработки следует удалить остатки щелочи с поверхности детали проточной холодной водой, после чего просушить поверхность сжатым воздухом.

Очистку поверхности сварочной проволоки выполняют химическим способом. Механическую очистку проволоки не проводят. Для химической очистки сварочной проволоки отматывают необходимое количество проволоки от бухты, нарезают на прутки. Обработку прутков сварочной проволоки выполняют с применением 10% раствора NaOH. Температура раствора составляет 60...70 °С. Удаление окисных плёнок с поверхности сварочной проволоки происходит в течение 5...10 минут. После обработки проволоки следует удалить остатки щелочи проточной холодной водой, после чего просушить проволоку сжатым воздухом.

Непосредственно перед ремонтной сваркой выполняют очистку кромок на ширине 15...25 мм от предполагаемого места сварки с применением металлических щёток с диаметром проволоки из нержавеющей стали не более 0,15 мм. Применение наждачных кругов или



наждачной бумаги не рекомендуется по причине того, что они оставляют на поверхности детали царапины, в которые забиваются частицы бумаги, что приводит к образованию пор при сварке. После механической очистки поверхности детали следует тщательно протереть её сухой ветошью, удаляя порошкообразные загрязнения. Обработанные таким образом детали пригодны к сварке в течение 5...6 часов, если указанное время истекло, то необходимо перед сваркой выполнить повторную очистку поверхности деталей.

Подготовку трещины перед ремонтной сваркой выполняют следующим образом. Предварительно необходимо тщательно осмотреть трещину, выявляя её концы. Обнаружение границ трещины облегчается, если выполнять её нагрев газовым пламенем до температуры 100...150 °С. Концы трещины следует засверливать с использованием сверла диаметром 5 мм, при этом необходимо следить, чтобы центр отверстия находился на расстоянии 3...5 мм от видимого конца трещины. Если трещина сквозная, то её разделку выполняют на всю толщину металла. Если трещина несквозная, то глубина разделки должна превышать глубину залегания трещины на 3 мм.

### **2.3 Описание сварочных операций**

Ремонтная сварка трёхфазной дугой с регулируемым тепловложением позволяет увеличить производительность и качество по сравнению с аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом. Схема подключения согласно рисунка 7 предусматривает подключение к фазе источника питания сварочной проволоки, что позволяет в широком диапазоне регулировать тепловой режим ремонтной сварки. Это объясняется тем, что значительная часть сварочного тока протекает непосредственно через сварочную проволоку, а сама дуга горит и на деталь, и на присадочную проволоку. Таким образом, изменение длины дуги и температуры

сварочной ванны могут осуществляться без риска обрыва дуги. Кроме того, горящая на проволоку дуга разогревает присадочную проволоку и усиливает эффект катодного распыления, что существенно повышает качество сварки [9], [26].

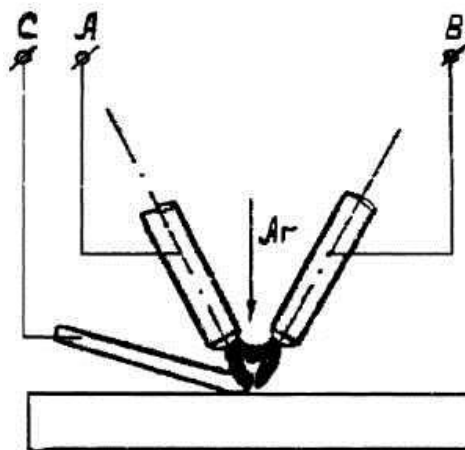


Рисунок 7 – Сварка трехфазной дугой с применением регулировки необходимого тепловложения

Возбуждение трёхфазной дуги выполняется при помощи осциллятора, далее между электродами постоянно горит вспомогательная дуга, которая не гаснет даже при прекращении горения дуги между электродами-проволокой-изделием. Это позволяет выполнять сложнопротяжённые сварные швы при проходе через различные впадины, выступы и ребра, не опасаясь обрыва дуги. В результате появляется возможность выбора оптимального подвода горелки к изделию и соблюдение техники ремонтной сварки, что существенно повышает качество, производительность и снижает остаточные напряжения.

Параметрами режима сварки являются: диаметр неплавящегося электрода – 3 мм, диаметр присадочной проволоки – 3 мм, ток сварки на проволоке – 150...180 А, ток сварки на электродах – 100...120А, скорость сварки – 8...12 м/ч, расход аргона – 7...8 л/мин.

В качестве присадочной проволоки используем проволоку, предложенную авторами [21], состав которой представлен в таблице 5. «В области сварки алюминиевых сплавов известно, что рост крупных зерен

является нежелательным, так как он может привести к трещинам и образованию горячих трещин. Одним из способов предупреждения роста крупных зерен является введение циркония или титана в присадочную проволоку (сварочную проволоку). Традиционной присадочной проволокой для сварки деталей из алюминиевого сплава является проволока из алюминиевого сплава диаметром обычно от 0,8 до 3,2 мм, содержащая те химические элементы, которые требуется ввести в сварное соединение. В этом контексте следует различать основу сплава проволоки, которую выбирают по ее металлургической совместимости со свариваемыми изделиями, и присадки, роль которых заключается в том, чтобы модифицировать первичную структуру затвердевания сварного соединения. Основа сплава присадочной проволоки должна обеспечивать получение зоны сварного шва с повышенной механической прочностью. Но именно первичная структура затвердевания сварного соединения может являться источником дефектов, некоторые из которых заметны сразу, тогда как другие можно обнаружить только после эксплуатации сварной конструкции в течение некоторого времени» [21].

Дополнительное введение в проволоку хрома и циркония позволяет повысить коррозионную стойкость сварного шва, которая снижается из-за легирования кремнием. Также введение циркония позволяет уменьшить структуру зерна в сварном шве, что предотвращает образование межкристаллитного разрушения.

Таблица 5 – Содержание химических элементов в предлагаемой проволоке для ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов [21]

Основные компоненты				Примеси, не более		
Al	Si	Cr	Zr	Fe	Zn+Sn	Cu
Остальное	4,5...6	0,8...1,2	0,7...1,2	0,6	0,1	0,2

## **2.4 Оборудование для проведения ремонтной сварки изделий из алюминиевых сплавов**

Питание трёхфазной дуги обеспечим за счёт применения источника, разработку которого вели сотрудники кафедры сварки Тольяттинского государственного университета [6], [10], [27]. Это источник УДГТ-315, представленный на рисунке 8, который имеет круто падающую вольтамперную характеристику. Регулирование сварочного тока осуществляется изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками сварочного трансформатора, при этом изменение тока возможно в диапазоне 135...550 А.

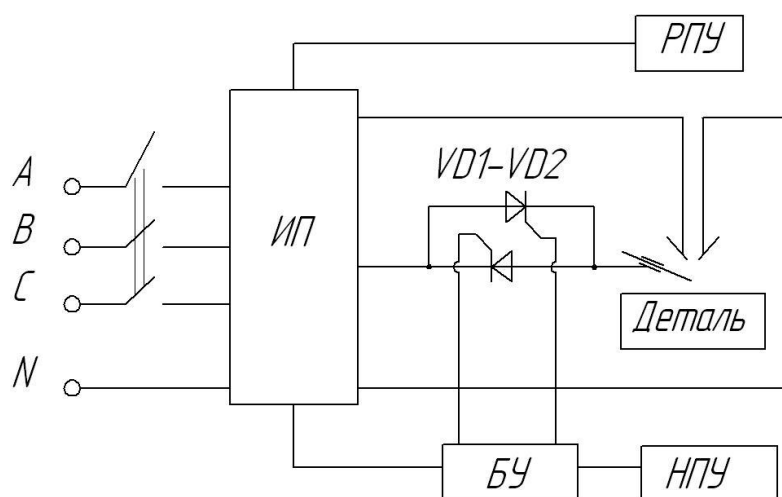


Рисунок 8 – Источник питания для трёхфазной сварки алюминиевых деталей

Расширение технологических возможностей источника достигнуто за счёт дополнительной установки в силовую схему согласно рисунку 9 тиристорного регулятора VD1-VD2, который включен в цепи питания сварочной проволоки. Регулирование момента открытия и закрытия тиристоров VD1-VD2 осуществляется блоком управления (БУ) и позволяет плавно изменять сварочный ток. Управление работой источник питания осуществляется с пульта ручного управления (РПУ) или пульта ножного управления (НПУ). Пульт ручного управления позволяет выполнять настройку источника питания – задавать параметры режима сварки, контролировать его работу по цифровой индикации, включать и выключать

источник питания. Пульт ножного управления позволяет зажигать и гасить сварочную дугу. Также с пульта ножного управления можно отключать среднюю фазу, что переводит источник питания с режима сварки в режим предварительного подогрева детали. Ножной пульт управления необходим при выполнении ремонтной сварки деталей, когда обе руки сварщика заняты сварочной горелкой и присадочной проволокой.

В качестве сварочной горелки используется разработанная в ТГУ горелка РГТ-6, позволяющая поддерживать ток до 350 А, выполнять сварку и наплавку в любых пространственных положениях, выполнять предварительный подогрев дефектного места и подсвечивать его [8].



ИП – источник питания, БУ – блок управления, РПУ – ручной пульт управления, НПУ – ножной пульт управления, VD1-VD2 – тиристорный регулятор тока

Рисунок 9 – Блок-схема сварочного поста

Подача присадочной проволоки выполняется вручную. Для закрепления проволоки, подведения к ней тока сварки и различных манипуляций с проволокой используется электрододержатель. Электрододержатель должна характеризовать легкость (не более 0,5 кг) и удобство, надежная изоляция, отсутствие нагрева при работе, обеспечение быстрого и надежного закрепления проволоки. В работе применим пассажный электрододержатель типа ЭД-31.

## **Выводы по второму разделу**

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества сварочных технологий при ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

На основании анализа состояния вопроса были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, которые решались во втором (исполнительском) разделе:

- выполнить анализ альтернативных способов сварки и обосновать выбор способа сварки применительно к ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов;

- составить проектную технологию ремонтной сварки.

На основании предварительного анализа альтернативных способов ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов, для экспертной оценки были выбраны способы сварки: ручная дуговая сварка покрытыми электродами, механизированная сварка плавящимся электродом в защитном газе, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка трёхфазной дугой.

На основании экспертной оценки каждого из выбранных способов принято решение построение проектной технологии ремонтной сварки выполнять на базе сварки трёхфазной дугой. Для осуществления проектной технологии ремонтной сварки предложено использовать разработанное в ТГУ оборудование. В качестве сварочной проволоки предложено использовать проволоку согласно патенту РФ № 2378095.

После решения поставленных задач воспоследует оценочный блок, где будут проведены следующие работы: 1) выполнить оценку предложенных в исполнительском разделе технологических решений на предмет отрицательного влияния на здоровье персонала и окружающую среду; 2) выполнить оценку предложенных технологических решений с точки зрения получения потенциального экономического эффекта.

### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при ремонте деталей из алюминиевых сплавов. Проектная технология ремонтной сварки предусматривает выполнение следующих операций: подготовка дефектного участка, заварка дефектного участка, контроль качества.

Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением значительного числа дефектов. Проектный вариант технологии предполагает применение трёхфазной сварки, которая позволит существенно уменьшить трудовые затраты и повысить качество ремонтной сварки.

Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартных средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Характеристика операций проектного технологического процесса приведена в таблице 6.

Таблица 6 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	1) машина моечная 2) дробеструйная камера 3) щетка металлическая 4) компрессор 5) сверлильный станок	1) моющий раствор 2) вода техническая 3) ацетон
2. Заварка дефектного места	Электросварщик	1) источник питания 2) сварочная горелка	1) сварочная проволока 2) аргон
3. Контроль качества	Дефектоскопист	1) лупа 2) дефектоскоп 3) штангенциркуль 4) твердомер 5) контрольный стол	1) масло 2) кисть

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса согласно таблицы 7.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.



Таблица 7 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1. Подготовка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> </ul>	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая
2. Заварка дефектного места	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	Источник питания, сварочная горелка
3. Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Ультразвуковой дефектоскоп

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 8 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, согласно таблицы 9, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, представленные таблице 10.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Таблица 9 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется ремонтная сварка деталей из алюминиевых сплавов	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 10 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Нет необходимости
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.	Кнопка оповещения

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблицы 11.

Таблица 11 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблицы 12 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблицы 13.

Таблица 12 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Ремонтная сварка деталей из алюминиевых сплавов	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 13 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

## **Выводы по экологическому разделу**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки емкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

## **4 Оценка экономической эффективности проектной технологии**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности ремонтной сварки деталей из алюминиевого сплава. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе сварки трехфазной дугой.

Базовая технология ремонтной сварки предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Недостатками базовой технологии является: малая производительность способа сварки; высокие требования к квалификации сварщика, от способностей которого существенно зависит качество сварки; требуется проведение качественной подготовки поверхности детали и сварочной проволоки.

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать замену этого способа на сварку трёхфазной дугой с управляемым тепловложением.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества за счёт применения трёхфазной дуги также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки торцевых и боковых стенок пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблицы 14.

Таблица 14 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	$P_p$		V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	300	300
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы: - доплат к основной заработной плате - отчислений на дополнительную заработную плату - отчислений на социальные нужды - выполнения нормы	$K_{доп}$	%	12	12
	$K_{д}$	-	1,88	1,88
	$K_{сн}$	%	34	34
	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Цоб$	Руб.	300000	800000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	10	10
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование : - норма амортизации оборудования - коэффициент транспортно-заготовительных расходов - коэффициент затрат на монтаж и демонтаж - стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$На$	%	21,5	21,5
	$K_{т-з}$	%	5	5
	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02



Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,85	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S$	$m^2$	6	6
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных таблицы 14: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{\text{п}} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{\text{п}} = 1$  час, принятое для

рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_{р} \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{н} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени  $B = 7 \%$ :

$$F_{э} = F_{н} \cdot (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{э} = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время  $t_{шт}$  является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени  $t_{маш}$ ; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени  $t_{всп}$ ; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования)  $t_{обсл}$ ; времени  $t_{отд}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени  $t_{п-з}$ :

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-З}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,21 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,874 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $П_{Г}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени  $F_{э}$  и согласно (3) штучного времени  $t_{шт}$ :

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054 / 1,21 = 1700 \text{ деталей за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054 / 0,847 = 2425 \text{ деталей за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $П_{Г} = 1000$  деталей в год.

При этом необходимое количество  $n_{расч}$  оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента  $K_{вн}$  выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем  $K_{вн} = 1,03$ ):

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

Требуемое количество оборудования  $n_{расч}$  для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{1,21 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,03} = 0,57, \quad n_{РАСЧ.пр} = \frac{0,847 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,03} = 0,4.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{пр}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На

основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{пр} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки  $K_3$  для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,57/1 = 0,57; K_{3п} = 0,4/1 = 0,4$$

#### 4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При сварке неплавящимся электродом расходными материалами будут присадочная проволока, защитный газ и неплавящиеся электроды. При сварке трехфазной дугой расходными материалами будут присадочная проволока, защитный газ и неплавящиеся электроды. Затраты  $M$  на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $C_M$  и коэффициента  $K_{ТЗ}$  транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (7)$$

Таблица 15 – Ориентировочный расход сварочных материалов по базовой и проектной технологиям

	Наименование экономического показателя	Значение по базовому варианту	Значение по проектному варианту	Обозначение показателя	Размерность показателя
1	Цена защитного газа (аргон)	80	80	$C_M$	руб./м <sup>3</sup>
2	Цена присадочной проволоки	130	130		руб./кг
3	Цена вольфрамового электрода	300	300		руб./кг
4	Норма расхода аргона	0,0252	0,0216	$H_p$	м <sup>3</sup>
5	Расход присадочной проволоки	0,414	0,342		кг
6	Норма расхода: аргона вольфрамового электрода	0,000495	0,000468		кг

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_B = (80 \cdot 0,0252 + 130 \cdot 0,414 + 3000 \cdot 0,000495) \cdot 1,05 = 60 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{пр}} = (80 \cdot 0,0216 + 130 \cdot 0,342 + 3000 \cdot 0,000468) \cdot 1,05 = 50 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  и коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат:

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

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 300 \cdot 1,21 \cdot 1,88 = 682 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 300 \cdot 0,847 \cdot 1,88 = 478 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{доп}}$  дополнительных доплат ( $K_{\text{доп}} = 12 \%$ ):

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (9)$$

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 682 \cdot 12 / 100 = 82 \text{ рубля},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 478 \cdot 12 / 100 = 57 \text{ рублей.}$$

Фонд заработной платы  $\Phi ЗП$  вычисляется как сумма основной  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 682 + 82 = 764 \text{ рублей}, \Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 478 + 57 = 535 \text{ рублей.}$$

Объём отчислений  $O_{\text{сн}}$  из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента  $K_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды:

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{сн баз.}} = 764 \cdot 34 / 100 = 260 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 535 \cdot 34 / 100 = 182 \text{ руб.}$$

Затраты  $Z_{\text{об}}$  на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат  $A_{\text{об}}$  на амортизацию и  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{эз}}. \quad (11)$$

Величина  $A_{\text{об}}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{\text{об}}$ , нормы амортизации  $H_{\text{а}}$ , машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и эффективного фонда времени  $F_{\text{э}}$  с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 300000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 2054 / 100 = 38 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,847 / 2054 / 100 = 71 \text{ руб.}$$

Расходы  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст}}$ , цены электрической энергии  $C_{\text{эз}}$  для предприятий, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \Pi_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{ээ баз}} = 10 \cdot 1,21 \cdot 4,7 / 0,85 = 67 \text{ руб.}, P_{\text{ээ пр}} = 10 \cdot 0,847 \cdot 4,7 / 0,85 = 47 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{\text{об баз.}} = 38 + 67 = 105 \text{ руб.}, Z_{\text{об проектн.}} = 71 + 47 = 118 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  рассчитывается как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  и затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{ОБ}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 60 + 764 + 260 + 105 + 40 = 1229 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 50 + 535 + 182 + 118 + 29 = 914 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость  $C_{\text{цех}}$  рассчитывается с учётом технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{цех}}$  цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1229 + 1,5 \cdot 682 = 1229 + 1023 = 2252 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 914 + 1,5 \cdot 478 = 914 + 717 = 1631 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость  $C_{зав}$  рассчитывается с учётом цеховой себестоимости  $C_{цех}$ , основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента  $K_{зав}$  заводских расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{ЗАВБаз.} = 2252 + 1,15 \cdot 682 = 2252 + 784 = 3036 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 1631 + 1,15 \cdot 478 = 1631 + 550 = 2181 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 16.

Таблица 16 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	$M$	60	50
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	764	535
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{сн}$	260	182
4. Затраты на оборудование	$Z_{об}$	105	118
5. Затраты на площади	$\Pi_{пл}$	40	29
5. Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	1229	914
6. Цеховые расходы	$P_{цех}$	1023	717
7. Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	2252	1631
8. Заводские расходы	$P_{зав}$	784	550
9. Заводская себестоимость	$C_{зав}$	3036	2181

#### 4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты  $K_{общ.б.}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.}$ ,



коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость  $C_{\text{об.б.}}$  оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования  $C_{\text{перв.}}$  срока службы оборудования  $T_c$  и нормы амортизации  $H_a$  оборудования:

$$C_{\text{об.б.}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 106500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЦБаз.}} = 1 \cdot 106500 \cdot 0,57 = 60705 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$  для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ , вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих вложений  $K_{\text{соп.}}$ :

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

Капитальные вложения  $K_{\text{об. пр.}}$  в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования  $C_{\text{об. пр.}}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{зп}}$  по проектному варианту:

$$K_{\text{об. пр.}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{\text{зп}} \quad (20)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

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

Сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (21)$$

Расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $C_{\text{б}}$  и  $C_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 15000 + 40000 = 65000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 336000 + 65000 = 401000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$  рассчитываем исходя из капитальных затрат  $K_{\text{общ.пр.}}$  и  $K_{\text{общ.б.}}$  для проектного и базового вариантов технологии:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр}} - K_{\text{общ.б.}}: \quad (24)$$

$$K_{\text{доп}} = 401000 - 60705 = 340295 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  рассчитываем с учётом годовой программы  $P_{\text{г}}$ :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 60705/1000 = 60,7 \text{ руб./ед.}; K_{удПроектн.} = 401000 /1000 = 401 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени  $t_{шт.б.}$  и  $t_{шт.пр.}$  по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{1,21 - 0,847}{1,21} \cdot 100\% = 30\%$$

Расчёт повышения производительности труда  $П_T$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

$$П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (27)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = \frac{100 \cdot 30}{100 - 30} = 43\%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{1229 - 914}{1229} \cdot 100\% = 26\%$$

Расчёт условно-годовой экономии  $\text{Пр}_{\text{ож}}$  (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (3036 - 2181) \cdot 1000 = 855000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости  $T_{\text{ок}}$  дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = \frac{340295}{855000} = 0,40$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\text{Э}_{\Gamma} = 855000 - 0,33 \cdot 340295 = 742702 \text{ руб.}$$

## **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов применяется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Недостатки её применения: низкая производительность выполнения сварочных работ, повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

Проектный вариант технологии предполагает использование сварки трёхфазной дугой с управляемым тепловложением. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 30 %, повышение производительности труда на 43 %, уменьшение технологической себестоимости на 26 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 0,855 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,742 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,4 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Следует также отметить, что экономический эффект был рассчитан для пробной партии деталей – 1000 штук. Переход на массовое использование ремонтной сварки трёхфазной дугой в рамках отрасли увеличит экономический эффект на несколько порядков.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности сварочных технологий при ремонте деталей из алюминиевых сплавов.

Выполнен анализ базовой технологии ремонтной сварки с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Выявлены следующие недостатки базовой технологии: низкая производительность выполнения сварочных работ, повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

На основании предварительного анализа альтернативных способов ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов, для экспертной оценки были выбраны способы сварки: ручная дуговая сварка покрытыми электродами, механизированная сварка плавящимся электродом в защитном газе, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка трёхфазной дугой.

На основании экспертной оценки каждого из выбранных способов принято решение построение проектной технологии ремонтной сварки выполнять на базе сварки трёхфазной дугой.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,742 млн. рублей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы. Её результаты следует внедрить в производство.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Брауде М. З., Воронцова Е. И., Ландо С. Я. Охрана труда при сварке в машиностроении. М. : Машиностроение, 1978. 144 с.
3. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве : учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
4. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов. – Киев : Изд-во «Наукова думка», 1981. 608с.
5. Гуреева М. А., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Конструкционные материалы. 2009. № 11 С. 27–41.
6. Гуров В. А. История кафедры «Оборудование и технология сварочного производства и пайки» Тольяттинского государственного университета (1960–2014 гг.) // Концепт. 2015. № 22. С. 1–11.
7. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин : учебное пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.
8. Ельцов В. В., Карелин В. И., Кондрашова С. В. Комплект универсального оборудования для ремонтной сварки изделий из легких сплавов // Сварочное производство. 1984. № 9. С. 35–36.
9. 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.
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. Зайцев О. И. Прогнозирование параметров режима при импульсно-дуговой сварке алюминиевых сплавов : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Олег Игоревич Зайцев ; Тульский государственный университет. Тула, 2003.
12. Ищенко А. Я., Мишенков В. А., Чаюн А. Г. Аргоно-дуговая сварка алюминиевых сплавов АМг5 и 01381 на постоянном, переменном и асимметричном токе // Автоматическая сварка. 1978. № 11. С. 46-48.
13. Калеко, Д. М. Современные способы дуговой сварки алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 1994. № 5–6. С. 35–37.
14. Камкин С. В., Возницкий И. В., Большаков В. Ф. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок. М.: Транспорт, 1996. 422 с.
15. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра : учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2014. 52 с.
16. Козулин М. Г. Технология изготовления сварных конструкций : учеб-метод. пособие к курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2008. 77 с.
17. Короткова Г. М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335с.
18. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
19. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти: ТГУ, 2005. 35 с.
20. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
21. Присадочная проволока для сварки алюминиевых сплавов : пат 2378095 Рос. Федерация : МПК В23К35/28 / Л. Коттиньи, С. Ж. Клодин, Ф. Жарри [и др.]. – Оpubл.10.01.2010, Бюл. № 1



22. Рабкин Д. М., Игнатъев В. Г., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев : Изд-во "Наукова думка", 1983. 80 с.
23. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин [и др.]; под ред. Ю.В. Казакова. М.: Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
24. Ситявин Ю. И., Терминасов Ю. С., Зубриенко Г. Л. Структура и свойства сварных швов алюминиевых сплавов в зависимости от некоторых факторов технологии сварки // Сварочное производство. 1979. №8. С. 28-29.
25. Смирнов И.В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
26. Столбов В. И., Печенкина В. А., Масаков В. В. Заварка дефектов алюминиевого литья трехфазной дугой // Сварочное производство, 1978. № 10. С. 19–20.
27. Столбов В. И., Шаповалов В. А., Цепенев Р. А., Короткова Г. М. Об управлении сварочным током в источниках питания трехфазной дуги // Сварочное производство. 1982. № 10. С. 24–25.
28. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков [и др.]; под ред. А. И. Акулова. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.
29. Фридляндер И. Н., Сандлер В. Г., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 9. С. 3–9.
30. Щицин Ю. Д., Синани И. Л., Белинин Д. С., Неулыбин С.Д. Совершенствование технологий плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и сложнелегированных сплавов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 427–431.
31. Юсуfoва, З. А. О механизме разрушения окисных плён в стыке при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов // Сварочное производство. 1979. № 10. С. 25-26.

32. Ambriz R.R., Jaramillo D. Mechanical Behavior of Precipitation Hardened Aluminum Alloys Welds // InTech. 2014. Vol. 14. P. 35–58.

33. 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.

34. 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.

35. Prasad R.S., Rao C.S., Rao D.N. Advances in Plasma Arc Welding // Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2012. № 1. P. 35–59.

36. Stava, E.K. New surface transfer tension process speeds pipe Welding // Pipe Line & Gas Industry. 1999. № 9. P. 55–57.

37. Yamamoto T., Ohji T., Miyasaka F., Tsuji Y. Mathematical modeling of metal active gas arc welding // Sci. and Technology of Welding & Joining. 2002. № 4. P. 260–264.