

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 Ремонт дефектов головки блока цилиндров двигателя КАМАЗ
с применением сварочных технологий

Обучающийся

А.Д. Янгубаев
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Г. Бочкарев
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Применение алюминиевых сплавов для изготовления деталей машин делает необходимым внедрение на предприятиях ремонтных технологий, отличных от применяемых для ремонта деталей из сталей. В частности, существенно усложняются сварочные процессы, широко используемые при восстановлении работоспособности деталей. При сварке деталей из алюминиевых сплавов возникает ряд трудностей, решение которых до сих пор заставляет существенно усложнять технологию и встречает определенные затруднения.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества ремонтной сварки деталей машин из алюминиевых сплавов на примере головки блока цилиндров.

В числе недостатков базовой технологии, которая предусматривает применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом, следует указать низкую производительность процесса, высокие требования, предъявляемые к сварщику, и необходимость повторной разделки и заварки по причине обнаружения дефектов в сварном шве.

В ходе выполнения исполнительского раздела обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии. На основании разработок отечественных исследователей-сварщиков предложены меры по повышению эффективности предлагаемого способа ремонтной сварки. Составлена проектная технология ремонтной сварки.

При выполнении оценочных разделов проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтной сварки деталей двигателя автомобиля из алюминиевых сплавов.	7
1.1 Описание детали, условий работы и дефектов.	7
1.2 Анализ материала детали на предмет свариваемости.	10
1.3 Операции базовой процесса ремонтной сварки.	12
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки деталей из алюминиевых сплавов.	17
1.5 Постановка задач на выпускную квалификационную работу	21
2 Проектная технология ремонтной сварки.	22
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки.	22
2.2 Повышение эффективности аргодуговой сварки неплавящимся электродом при построении ремонтной технологии.	26
2.3 Оборудование для импульсной аргодуговой сварки неплавящимся электродом.	31
2.4 Операции проектного технологического процесса ремонтной сварки.	34
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. .	36
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. .	36
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	37
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	38
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	40
3.5 Экологическая безопасность.	42
4 Экономическое обоснование проектных решений.	44
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	44

4.2 Фонд времени оборудования.	46
4.3 Штучное время и годовая программа.	47
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	49
4.5 Расчёт капитальных затрат.	54
4.6 Расчёт экономических показателей.	56
Заключение	58
Список используемой литературы и используемых источников.	59

Введение

По объёмам применения алюминиевые сплавы занимают второе место после сталей, при этом объёмы их потребления продолжают увеличиваться. Растущая роль алюминиевых сплавов в изготовлении деталей машин объясняется уникальным сочетанием свойств. В первую очередь, следует отметить малую плотность алюминиевых сплавов, обуславливающую снижение веса конструкции, так как при малой плотности прочностные показатели алюминиевых сплавов приближаются к прочностным показателям углеродистых сталей [3], [11]. Снижение массы деталей особенно актуально для изготовления деталей автомобиля, так снижение его массы позволяет, во-первых, увеличить полезную нагрузку (особенно важно для грузовых автомобилей), во-вторых, повышает динамические характеристики автомобиля, в-третьих, позволяет уменьшить расход топлива и обуславливают переход на использование двигателей с новыми принципами (например, применение электрического привода колёс).

Также при применении алюминиевых сплавов для изготовления машин необходимо учитывать их высокую обрабатываемость, которая позволяет получить детали с более развитой геометрией по сравнению с аналогичными деталями из конструкционных сталей или чугунов. Это позволяет обеспечить получение уникальных характеристик, которые при использовании других материалов не удаётся реализовать на рассматриваемой детали.

Замена сталей и чугунов на алюминиевые сплавы в ряде случаев сопровождается получением дополнительных положительных эффектов, связанных с высокой теплопроводностью алюминиевых сплавов, что может часто использоваться при изготовлении элементов тепловых машин, в частности, двигателей внутреннего сгорания. Применение для изготовления элементов двигателя деталей из алюминиевых сплавов позволяет увеличить эксплуатационные характеристики и продлить срок службы агрегата.

Также расширяющееся применение алюминиевых сплавов объясняется простотой их вторичного использования, что позволяет следовать мировой экологической повестке и существенно снижает размер утилизационного сбора. Применение алюминиевых сплавов позволяет после утилизации получать вторичную и третичную продукцию без потери качества.

Однако применение алюминиевых сплавов для изготовления деталей машин делает необходимым внедрение на предприятиях ремонтных технологий, отличных от применяемых для ремонта деталей из сталей. В частности, существенно усложняются сварочные процессы, широко используемые при восстановлении работоспособности деталей. При сварке деталей из алюминиевых сплавов возникает ряд трудностей, решение которых до сих пор заставляет существенно усложнять технологию и встречает определенные затруднения [7], [11], [27], [28].

Внедрение ремонтных технологий не только позволяет получить описанные выше положительные эффекты. Также следует принимать во внимание необходимость внедрения технологий реновации, связанную с затруднением доступа российского производителя высокотехнологичным деталям и технологиям [12], [13], [16], [20]. При выборе технологических решений следует отдавать предпочтение решениям, имеющимся на отечественном рынке, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от поставок высокотехнологичного оборудования иностранного производства.

На основании вышеизложенного следует признать высокую актуальность выпускной квалификационной работы и поставленной цели – повышение производительности и качества ремонтной сварки деталей машин из алюминиевых сплавов на примере головки блока цилиндров.

Достижение поставленной цели должно быть основано на анализе источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки деталей машин из алюминиевых сплавов, с учётом мирового и российского опыта.

1 Современное состояние ремонтной сварки деталей двигателя автомобиля из алюминиевых сплавов

1.1 Описание детали, условий работы и дефектов

На рисунке 1 представлена головка цилиндра автомобиля КАМАЗ, для изготовления которой применяется литейный сплав на основе алюминия АК9ч, свойства и особенности сварки которого приведены в следующем разделе настоящей выпускной квалификационной работы. Конструкция головки предусматривает наличие в ней камер сгорания, которые имеют клиновидную форму. В головку запрессованы выполненные из серого чугуна седла и направляющие втулки клапанов.

В процессе длительной работы головки цилиндров она подвергается термическому и силовому воздействию, а также коррозионному действию. При частичной разборке двигателя в ходе выполнения планового ремонта проводится внешний осмотр головок цилиндра, в ходе которого обнаруживаются дефекты, которые не позволяют дальнейшую эксплуатацию двигателя, но могут быть исправлены с применением сварочных и наплавочных технологий.



Рисунок 1 – Головка цилиндра КАМАЗ

При проведении визуального осмотра в головке цилиндра могут быть обнаружены следующие дефекты. Первым дефектом является разрушение посадочных мест под седло клапанов и перемычек, при обнаружении такого дефекта приходится браковать головку и утилизировать. «Вторым дефектом являются пробоины, трещины на стенках камер сгорания и прогар, такие дефекты также не подлежат исправлению, и при их обнаружении деталь приходится браковать и утилизировать. Третьим дефектом являются трещины на рубашке охлаждения» [4], такие дефекты могут быть исправлены с применением дуговой или газовой сварки. Четвертым дефектом является коробление поверхностей прилегания и коррозия поверхностей, которые происходят в результате перегрева головки и может быть исправлено с применением фрезерования и восстановления электродуговой металлизацией. Пятым дефектом является неравномерный износ поверхностей под свечи, исправление которого выполняется наплавкой в аргоне с последующей расточкой. Шестым дефектом является срыв или износ резьбы в отверстиях для установки свечи, который исправляется аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с последующим нарезанием резьбы. Седьмым дефектом является износ различных рабочих поверхностей, которые механически обрабатываются до следующего рабочего размера.

На рисунке 2 представлены характерные дефекты головки цилиндра: прогар привалочной плоскости, представленный на рисунке 2-а; трещина около седла, которая представлена на рисунке 2-б; трещина вблизи клапанных гнезд, которая представлена на рисунке 2-в. Также трещина может образоваться вблизи шпилек, пример такой трещины представлен на рисунке 2-г. В процессе длительной эксплуатации возможно образование между клапанными гнездами, пример которой представлен на рисунке 2-д.

Для выявления дефектов головки цилиндра проводится внешний осмотр невооруженным глазом, осмотр с применением лупы, измерительный контроль с применением щупа, штангенциркуля, набора калибров.



Рисунок 2 – Примеры дефектов головки цилиндра

Необходимо отметить значительную роль процессов дуговой сварки при исправлении дефектов деталей двигателя автомобиля. Большая часть трещин, которые возникают в корпусе головки цилиндра, могут быть устранены с применением дуговой или газовой сварки, а также с применением перспективных способов сварки (плазменная сварка, лазерная сварка). Дальнейшие исследования следует вести в области анализа применяемых способов сварки, обоснования выбора способа сварки и расширения его технологических возможностей применительно к рассматриваемой в настоящей выпускной квалификационной работе детали.

1.2 Анализ материала детали на предмет свариваемости

Для изготовления головки цилиндра применяется литейный алюминиевый сплав АЛ4, который также обозначается как АК9ч, содержание химических элементов в сплаве представлено в таблице 1. Суммарное содержание примесей в сплаве допускается до 1,5 %.

Основной сплав является алюминий, который обеспечивает легкость конструкции и коррозионную стойкость. Добавление в сплав кремния позволяет повысить пластичность сплава и улучшить его литейные свойства, однако несколько снижает коррозионную стойкость сплава. «Кроме того, содержащийся в сплаве кремний улучшает свариваемость сплава при последующей ремонтной сварке, которая будет выполняться при ремонте деталей машин. Добавление магния позволяет повысить прочность сплава. Наличие в сплаве меди несколько повышает его пластичность, но снижает коррозионную стойкость. Цинк также повышает прочность сплава» [4], но при его введении в состав необходимо принимать во внимание, что он играет роль катализатора при окислении алюминия в щелочной среде, что может отрицательно сказаться на коррозионной стойкости сплава. Прочность сплава также повышается за счёт содержащегося в нем железа.

Проведение ремонтной сварки на деталях машин из алюминиевых сплавов сопряжено с решением ряда технологических трудностей, окончательное решение которых относится к будущему техники. От полноты преодоления данных трудностей зависит применимость рассматриваемого способа ремонтной сварки и его эффективность для исправления дефектов деталей машин. Необходимо сформулировать затруднения сварки и наметить способы их решения, что позволит в дальнейшем обосновать выбор способа сварки для построения проектной технологии ремонта.

Таблица 1 – Химический состав сплава АК9ч

Si	Mn	Fe	Mg	Ni	Cu	Zn	Sn	Be
8...10,5	0,2...0,5	до 1	0,17...0,3	до 0,1	до 0,3	до 0,3	до 0,01	до 0,1

Поверхность деталей и сварочной проволоки покрыты окислом Al_2O_3 , температура плавления которого составляет $2050\text{ }^\circ\text{C}$, что существенно превышает температуру плавления основного металла. Кроме того, нерасплавленные частицы окисной пленки алюминия не растворяются в сварочной ванне и не остаются на её поверхности, а погружаются в расплавленный металл, что приводит к загрязнению металла сварного шва.

Алюминиевые сплавы по сравнению со сталями характеризуются меньшим модулем упругости и большим коэффициентом линейного расширения, что приводит к образованию повышенного уровня остаточных напряжений в конструкции и её короблению после сварки. Кроме того, повышенные остаточные напряжения ухудшают эксплуатационные свойства деталей и снижают их ресурс. При проектировании технологии ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов следует принимать во внимание, что уровень остаточных напряжений превышает в $1,5...2$ раза уровень остаточных напряжений при сварке стальных конструкций.

Следует отметить высокую склонность жидкого алюминия к растворению значительного количества газов, которые не успевают полностью выделиться при кристаллизации, что становится причиной образования повышенной пористости металла сварного шва. По причине борьбы с пористостью необходимо проводить тщательную очистку поверхности проволоки и свариваемых деталей.

По причине того, что алюминиевые сплавы обладают значительной теплопроводностью, для их сварки необходимо применять источники нагрева повышенной по сравнению со сталью мощностью, что повышает требования к сварочному оборудованию, усложняет его.

Структура металла сварного шва является столбчатой с выделением по граница кристаллитов легкоплавкой эвтектики, что в сочетании с повышенным уровнем растягивающих напряжений и сниженным пределом упругости вызывает образование горячих трещин. Кроме того, на образование горячих трещин влияет высокий коэффициент усадки сплавов.

1.3 Операции базовой процесса ремонтной сварки

Перед выполнением диагностики состояния и ремонтной сварки головки цилиндра необходимо очистить её поверхности от загрязнений, которые в значительном объеме накопились в процессе длительной работы. «Очистку поверхности детали проводят в расплаве солей, далее промывают деталь в холодной воде, после чего на непродолжительное время опускают деталь в раствор кислот, далее выполняют окончательную промывку раствором Лабомид-101, который выполняет полную очистку и пассивацию поверхности деталей.

Погружение детали в раствор солей происходит при температуре 400 °С на 12 минут. В раствор солей входит едкий натр в количестве 65...70 грамм на литр раствора, азотнокислый натрий в количестве 25...30 грамм на литр раствора, хлористый натрий в количестве 5 грамм на литр раствора. Для погружения в раствор кислот применяют смесь из ортофосфорной кислоты и ангидрида, концентрация компонентов в котором составляет 8,5 моль на литр кислоты и 12,5 грамм на литр ангидрида. Температура кислотного раствора составляет 85...95 °С, длительность погружения в кислотный раствор составляет 5 минут» [6]. При вымачивании в растворе «Лабомид-101» концентрация раствора составляет 30 грамм на литр, длительность вымачивания составляет 10...25 минут при температуре 90...100 °С.

После промывки детали необходимо выполнить оценку её состояния. В значительном количестве случаев трещины в головке цилиндра могут быть обнаружены визуально, но для более достоверного контроля следует провести опрессовку. Применение опрессовки позволяет выявить на детали наличие скрытых трещин, которые не могут быть обнаружены при внешнем осмотре. Кроме того, при опрессовке становится возможным обнаружить трещины в скрытых полостях, визуальный контроль которых затруднён. После заглушения отверстий на головке цилиндра внутрь подают воду под

давлением 5 кгс/см^2 . По манометру контролируют давление поданной внутрь детали воды, которое в течение двух минут не должно снижаться. На поверхности детали при этом не должно наблюдаться протечек воды.

При проверке детали погружением воду применяют ванну с водой, подогретой до температуры $60...80 \text{ }^\circ\text{C}$, в которую погружают деталь и оставляют нагреваться в течение пяти минут. Далее внутрь детали подают сжатый воздух под давлением $1,5...2 \text{ кгс/см}^2$ в течение $1...1,5$ минут. На поверхности детали не должны присутствовать воздушные пузырьки, свидетельствующие о выходе воздуха из внутренних полостей детали.

Если обнаруженные трещины имеют длину более 50 мм , то такую головку следует забраковать и отправить на утилизацию. Если на детали присутствует более двух трещин, суммарная длина которых превышает 50 мм , то такую деталь также следует признать неремонтопригодной. Неремонтопригодными также признаются детали, в которых трещины проходят в камеру сгорания.

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.

Так как запрессованные в корпус головки цилиндра седла клапанов затрудняют разделку и сварку, их удаляют растачиванием. Для направления инструмента применяют стержень – пилот, который вставляют в отверстие втулки клапана, растачивают седла клапана до полного их удаления с визуальным контролем всего процесса.

Разделку трещины выполняет сам сварщик, который будет проводить её заварку. Выборку проводят по всей длине трещины с предварительным засверливанием концов. Выборку следует проводить до здорового металла, заглубляясь на 2...3 мм. Поверхность детали должна быть зачищена до металлического блеска на расстояние 20...30 мм от разделки дефектного места.

Для того, чтобы уменьшить уровень остаточных напряжений в конструкции, необходимо выполнить предварительный подогрев детали до температуры 250 °С. Также в печь, нагретую до этой температуры помещается деталь после сварки, которая потом охлаждается вместе с печью.

Заварку дефекта следует выполнять за один прием, не допускается перерывов до завершения ремонтной сварки. Ремонтную сварку выполняют с применением установки УДГУ-351. Сварку выполняют в среде чистого аргона, поставка которого на участок выполняется баллонами серого цвета. В качестве присадочной проволоки применяют порезанную на прутки проволоку СВАК5 диаметром 3 и 4 мм. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от принимаемых параметров режима сварки, которые представлены в таблице 2. Сварку ведут неплавящимся электродом из лантанированного вольфрама диаметром 2 или 3 мм. Диаметр вольфрамового электрода выбирается исходя из параметров режима, которые представлены в таблице 2.

При сварке следует выполнять шов с прибылью, так как усиление и весь лишний металл будут удалены при последующей механической обработке. На том же расточном станке, на котором проводится удаление седел клапанов, выполняют удаление излишков наплавленного металла. Для

ремонта применяются специально изготовленные седла, которые устанавливаются с натягом, величина которого превышает в несколько раз величину натяга, рекомендованного производителем, что позволяет обеспечить надёжность фиксации элементов.

Таблица 2 – Параметры режима сварки при исправлении дефектов алюминиевого литья

«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» [6]	140...170	4	3	10...12

После проведения ремонтной сварки следует выполнить повторную опрессовку, которая позволяет одновременно решить две задачи. Первая – проверка качества ремонта. Вторая – поиск трещин, которые могут проявиться после выполнения ремонта – при устранении большой трещины начинают проявляться более мелкие.

С использованием специальных фасонных фрез выполняют подготовку уплотняющей поверхности седел, которая должна иметь геометрию, соответствующую геометрии при поставке с завода. В случае правильного проведения ремонта и установки исправных клапанов, необходимость в их притирке отсутствует.

При работе двигателя, если появилась трещина в головке цилиндра, скорее всего был факт перегрева, который с высокой вероятностью вызвал искривление плоскости разъема головки цилиндра с блоком цилиндров. Для устранения искривления необходимо выполнить фрезерование привалочной плоскости, которое, в свою очередь, приведет к занижению высоты головки, что необходимо принимать во внимание при построении технологического процесса восстановления. В этом случае следует предпринять меры, исключающие столкновение клапанов с поршнем – занижение фасок седел и клапанов, подрезка торцев клапанов.

Ни рисунке 3 представлена схема построения технологического маршрута в зависимости от повреждения головки цилиндра.

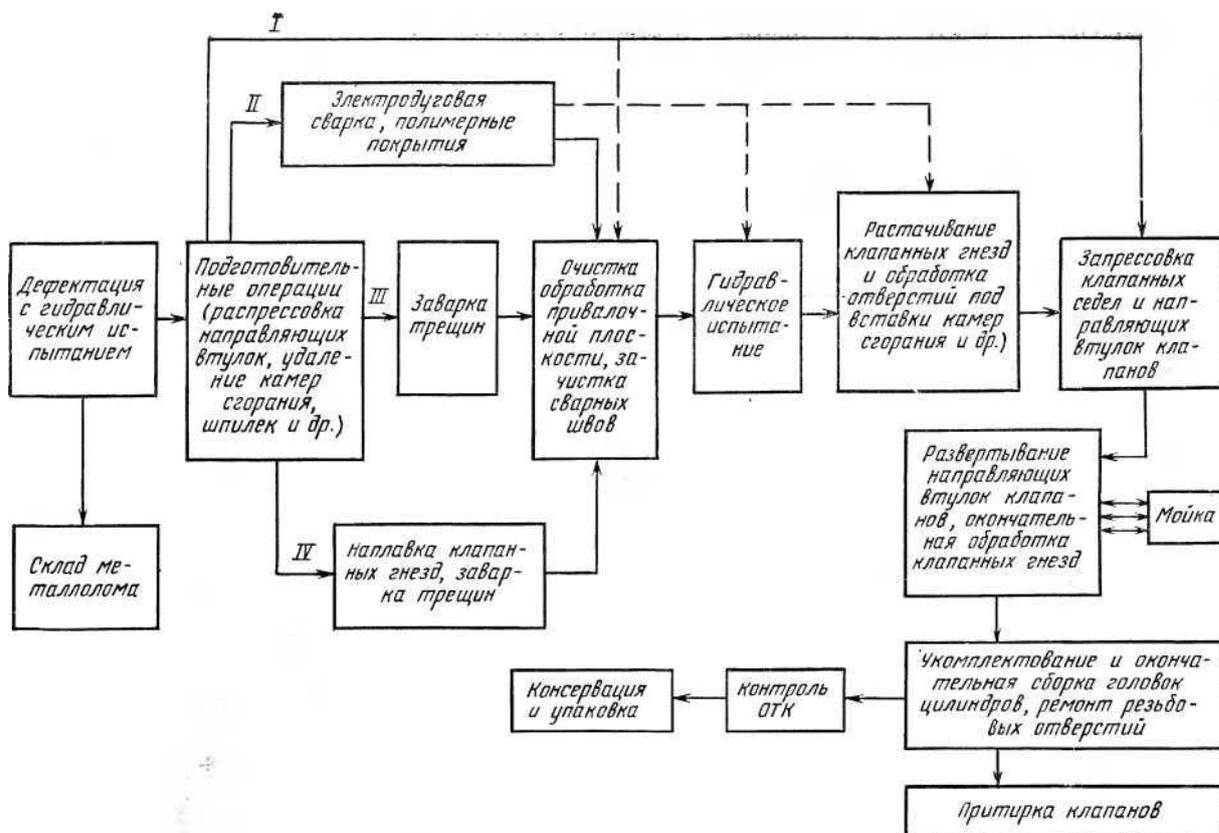


Рисунок 3 – Схема построения технологического маршрута в зависимости от повреждения головки цилиндра

Технологический процесс ремонта головки цилиндра условно разделяется на четыре маршрута, которые могут быть применены независимо от количества исправляемых деталей. Значительный экономический эффект может быть получен, если для каждого маршрута будет организован специализированный ремонтный участок, что положительно повлияет на производительность и качество выполняемых работ. Также разделение на участки позволяет более полно загружать имеющееся оборудование и эффективнее использовать производственную площадь. Появляется возможность оперативной перестройки процесса на восстановление типовых деталей и переход на коммерческое использование за счёт восстановления деталей от других предприятий.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки деталей из алюминиевых сплавов

Представленная выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при проведении сварки деталей из алюминиевых сплавов. При составлении введения выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. Формулировка задач выпускной квалификационной работы должна базироваться на мировом опыте в области повышения эффективности сварочных процессов. Для этого следует провести поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберденинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «сварка алюминиевых сплавов» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первой работе [30] 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. Также установлено, что величина анодного напряжения практически не зависит от материала, из которого этот анод изготовлен. На основании результатов эксперимента составлена таблица падений напряжения на анодном участке дуги при силе сварочного тока в диапазоне 50...300 А.

«Данная работа использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы. В рассматриваемой работе предлагаются меры по повышению эффективности плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов, что будет использовано для обоснования способа сварки» [30] при построении проектной технологии.

Во второй работе [31] доказана высокая эффективность применения сжатой дуги на токе обратной полярности. Переход на сварку обратной полярности позволяет повысить технологические свойства сжатой дуги и применить её для ремонтной сварки деталей из легких сплавов и высоколегированных сталей.

Данная работа использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы. В рассматриваемой работе предлагаются меры по повышению эффективности плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов, что будет использовано для обоснования способа сварки при построении проектной технологии.

В третьей работе [10] Выполнены экспериментальные исследования и экономические расчёты по оценке эффективности применения различных защитных газов при сварке алюминиевых сплавов. Применение чистого неона не представляется целесообразным ввиду его высокой стоимости. Однако введение неона в качестве компонента в газовую смесь «гелий+неон» практически не увеличивает её стоимость, которая оказывается на 25 %

ниже стоимости применения чистого гелия. Существенное снижение расходов на защитный газ достигается при использовании тройных газовых смесей «неон+гелий+аргон», где гелий находится в количестве 50...70 %, аргон – в количестве 7...47 %, неон – в количестве 3...23 %. Существенное повышение качества сварного шва, выражаемое в уменьшении выпуклости, снижении количества пор, увеличении глубина проплавления и ширины сварного шва, достигается при использовании гелий-неоновых смесей по сравнению с применяющимися сейчас гелий-аргоновыми смесями. Также следует отметить, что переход на использование гелий-неоновых смесей наблюдается повышение напряжения на дуге и рост производительности сварки.

Данная работа использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы. В рассматриваемой работе предлагаются меры по повышению эффективности сварки деталей из алюминиевых сплавов, что будет использовано для обоснования способа сварки при построении проектной технологии.

В четвертой работе «установлена взаимосвязь особенностей структуры сварного шва с погонной энергией при сварке алюминиевого сплава 7025-T6» [21]. При снижении погонной энергии наблюдается уменьшение размеров зерен металла. Однако снижение погонной энергии вызывает образование более резкого перехода от зоны сплавления к основному металлу. Увеличение погонной энергии сварки вызывает рост зоны термического влияния, но на твердость в характерных зонах сварного шва влияние не оказывает. Увеличение погонной энергии вызывает рост ширины валика сварного шва и глубины проплавления. Следует отметить разупрочнение металла в зоне сварного соединения, с которым можно бороться при помощи термической обработки после сварки.

Данная работа использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы. В рассматриваемой работе предлагаются меры по повышению эффективности сварки деталей из алюминиевых сплавов, что

будет использовано при выборе параметров режима сварки при построении проектной технологии.

В пятой работе [24] показано, что при сварке деталей из алюминиевых сплавов характерным дефектом структуры сварного шва является образование протяжённых нитевидных включений, которые состоят из оксидных плен. Причиной появления таких дефектов становится локальное охлаждение присадочной проволоки в зоне контакта с расплавом сварочной ванны. Снижение вероятности получения описанных дефектов в сварном соединении достигается при усилении процесса разрушения окисных плёнок на поверхности присадочной проволоки и на поверхности кромок деталей. 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 использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы. В рассматриваемой работе предлагаются меры по повышению эффективности механизированной сварки деталей из алюминиевых сплавов, что будет использовано при выборе параметров режима сварки при построении проектной технологии.

При построении проектного технологического процесса ремонтной сварки детали следует выполнить экспертную оценку таких способов, как «ручная дуговая сварка, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, плазменная сварка и сварка трехфазной дугой, разработки которой интенсивно ведутся в Тольяттинском государственном университете на кафедре сварки и родственных процессов» [6].

1.5 Постановка задач на выпускную квалификационную работу

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности исправления дефектов головки цилиндра автомобиля КАМАЗ, которая выполняется из литейного алюминиевого сплава. В числе недостатков базовой технологии, которая предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, следует указать низкую производительность процесса, высокие требования, предъявляемые к сварщику, и необходимость повторной разделки и заварки по причине обнаружения дефектов в сварном шве. «Анализ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки деталей машин из алюминиевых сплавов позволяет для детального анализа рассмотреть такие способы восстановления: ручная дуговая сварка покрытым электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, плазменная сварка, сварка трехфазной дугой. Проведенный анализ позволяет выполнить постановку задач на выполнение выпускной квалификационной работы, решение которых позволяет достигнуть поставленной цели. Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной сварки, для решения которой необходимо выполнить экспертную оценку способов, список которых представлен выше. Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемой в настоящей выпускной квалификационной работе детали» [6]. Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, решение которой предусматривает составление перечня операций, назначения параметров режима и выбора оборудования. При выполнении оценочных разделов предстоит выработать решения по обеспечению промышленной и экологической безопасности проектной технологии [1], [2] и оценки экономического эффекта на основании сравнения экономических показателей базовой и проектной технологии [14], [22].

2 Проектная технология ремонтной сварки

2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки

При выборе способа сварки, который будет использован для построения проектной технологии ремонтной сварки головка цилиндра из литейного алюминиевого сплава необходимо руководствоваться назначением детали и особенностями расположения сварного шва. Так предполагается ремонтная сварка, то протяженность сварного шва будет незначительной, поэтому автоматические способы сварки применять нерационально. При ремонтной сварке возможно выполнение шва в различных, в том числе, и неудобных для формирования сварочной ванны положениях, поэтому необходимо выбирать способы сварки с высокой пространственной стабильностью сварочной дуги. Выполнение ремонтной сварки предполагает особенности геометрии и пространственного положения каждого сварного шва, что не позволяет применять автоматизированную и роботизированную сварку. На основании вышеизложенного для построения проектной технологии ремонтной сварки могут быть применены такие способы: «ручная дуговая сварка, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, плазменная сварка и сварка трехфазной дугой» [6], разработки которой интенсивно ведутся в Тольяттинском государственном университете на кафедре сварки и родственных процессов.

Ручную дуговую сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности электродами, диаметр которых должен быть не менее 4 мм [6], [26]. При меньшем диаметре электродов высокая скорость плавления не позволяет соблюдать правильную технику сварки, это происходит по причине того, что электрод для сварки алюминиевых сплавов расходуетя приблизительно в 2...3 быстрее, чем электрод аналогичного диаметра для сварки сталей. Ручную дуговую сварку деталей из алюминиевых сплавов

следует вести с предварительным подогревом до 250...400 °С. Внешняя характеристика источника питания должна быть плогопадающей. Применение ручной дуговой сварки ограничивается только нижним положением, так как в других положениях не обеспечивается удержание сварочной ванны и её защита. Кроме того, качество сварного шва существенно зависит от квалификации сварщика и намного ниже, чем качество соединений, полученных при использовании других способов сварки. Ручная дуговая сварка характеризуется тяжелыми условиями труда и необходимостью исправления брака.

Наиболее распространенным способом при ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов является аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, которая широко применяется при изготовлении и ремонте конструкций ответственного назначения [4]. Главным преимуществом сварки неплавящимся электродом перед ручной дуговой сваркой является отсутствие шлака и возможность формирования сварного соединения на малых токах, составляющих до нескольких ампер. Отсутствие необходимости выполнять зачистку шлака и более высокое качество сварки позволяет повысить производительность выполнения коротких швов по сравнению с ручной дуговой сваркой. Выгодным отличием сварки неплавящимся электродом от ручной дуговой сварки является высокая пространственная стабильность дуги, которая позволяет вести сварку во всех пространственных положениях, что оказывается критически важным при выполнении ремонтной сварки на деталях машин со сложной конфигурацией. Недостатками применения сварки неплавящимся электродом являются малая производительность, высокая стоимость сварочного оборудования, высокие требования к подготовке сварщика, получение дефектов сварки в виде пористости и окисных включений, из-за которых приходится выполнять вырубку дефектного места и повторную заварку. Стабильность качества сварки может быть повышена при использовании в качестве защитного газа смеси «аргон + гелий», но повышает затраты.

Одним из самых экономичных способов является «механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая должна выполняться на постоянном токе обратной полярности, что требуется для обеспечения катодной очистки поверхности детали» [9], [15]. Переменный ток при механизированной сварке не применяется, так как при сварке на переменном токе горение дуги и её пространственное положение отличается крайне низкой стабильностью. Механизованную сварку алюминиевых сплавов следует вести проволокой с диаметром не менее 2,5 мм, так как применение проволоки меньшего диаметра повышает пористость сварного шва. Недостатками механизированной сварки алюминиевых сплавов является интенсивное разбрызгивание, загрязнение сопла горелки, низкая пространственная стабильность дуги, пористость металла шва. В числе главного преимущества механизированной сварки следует указать высокую производительность, которая многократно превышает производительность сварки неплавящимся электродом.

Плазменная сварка позволяет повысить производительность процесса и качество выполняемого соединения за счёт локализации выделения тепла и большей его интенсивности, что способствует ускоренному разрушению окисной пленки и снижает перегрев основного металла [18], [32]. При плазменной сварке наблюдается устойчивое горение дуги при различных пространственных положениях, что позволяет применять этот способ сварки для ремонта деталей из алюминиевых сплавов сложной конфигурации. Недостатком плазменной сварки, который ограничивает применение этого способа, является сложность оборудования и малый опыт промышленного использования. Отечественный производитель сварочного оборудования не поставляет на рынок необходимых сварочных аппаратов, в настоящий момент имеется только оборудование иностранного производителя.

Для ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов предложен способ сварки трехфазной дугой, который имеет значительный потенциал, раскрытие которого в ближайшей перспективе должно продвинуть

отечественную промышленность, о чем свидетельствует многолетний опыт работы коллектива кафедры сварки [5], [8]. 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» [8]. 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 размер кристаллитов металла сварного шва.

Решение первой задачи – обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой в настоящей выпускной квалификационной работе детали. Для этого применим технологические критерии, описанные в работе [22]. «При оценке рассмотренных способов по производительности работ первые три места заняли такие способы: сварка трехфазной дугой, механизированная сварка в защитных газах и плазменная сварка. По качеству сварного шва первые три места заняли такие способы сварки: сварка трехфазной дугой, плазменная сварка, сварка неплавящимся электродом. По универсальности способа первые три места заняли такие способы сварки: ручная дуговая сварка, сварка трехфазной дугой, сварка неплавящимся электродом. По условиям труда сварщика первые три места заняли такие способы сварки: сварка неплавящимся электродом, сварка трехфазной дугой и механизированная сварка» [6].

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить аргонодуговую сварку неплавящимся электродом.

2.2 Повышение эффективности аргодуговой сварки неплавящимся электродом при построении ремонтной технологии

Аргодуговая сварка неплавящимся электродом характеризуется получением таких дефектов сварного шва, как окисные плены и поры, отрицательное влияние которых наиболее сильно сказывается при выполнении ремонтных швов на дателях машин из алюминиевых сплавов [17], [19]. Интенсификация перемешивания металла сварочной ванны позволяет более полно провести процесс дегазации, кроме того, при интенсивном перемешивании окисные включения поднимаются со дна сварочной ванны и попадают под действие сварочной дуги, разрушаясь. Применение дуги с импульсным горением позволяет увеличить силовое воздействие дуги на поверхность сварочной ванны, пульсирующее действие сварочной дуги наблюдается при изменении полярности (сварка разнополярным током), изменении амплитуды (сварка модулированным током) и смене «пауза-импульс» (импульсная сварка). Следует принимать во внимание, что давление, оказываемое сварочной дугой на расплавленный металл ванны, пропорционально квадрату значения тока. При этом силовое действие дуги практически мгновенно изменяется, повторяя изменение значения сварочного тока [33].

Выполнено исследование по влиянию параметров импульсов сварочного тока при сварке ассиметричными импульсами и модулированным током. В качестве критерия оптимизации принималось содержание в сварном шве окисных включений и пор, которые должны быть минимальными. Для выполнения сварки были использованы представленные на рисунке 4 источники сварочного тока: BRIMA TIG 2500P, ИСВУ-315, AURORA PRO. Для формирования проплавления в корне шва сварку вели на подкладке из нержавеющей стали с формирующей канавкой. В качестве присадки была использована сварочная проволока СвАМг6 и проволока Св1201.



Рисунок 4 – Источники сварочного тока: BRIMA TIG 2500P (а), ИСВУ-315 (б), AURORA PRO (в)

Перед сваркой выполняли химическое травление образцов. Толщина свариваемого металла составляла 6 мм при зазоре между деталями 1,2 мм. непосредственно перед выполнением сварки кромки деталей зачищались механическим способом на глубину 0,1 мм. Относительную протяженность окисных включений в сварной шов оценивали на продольном изломе как сумму длин дефектных участков на одном погонном метре сварного шва.

Оценку пористости выполняли на образцах с зачисткой боковой и лицевой поверхности кромок, не выполняли зачистку нижней поверхности, так как необходимо было исследовать поведение пузырьков газа в нижней части сварочной ванны.

Импульс сварочного тока представлен на рисунке 5 и характеризуется следующими временными интервалами: $\tau_{пр}$ – длительность протекания $I_{пр}$ тока на прямой полярности, $\tau_{об}$ – длительность протекания тока $I_{об}$ на обратной полярности.

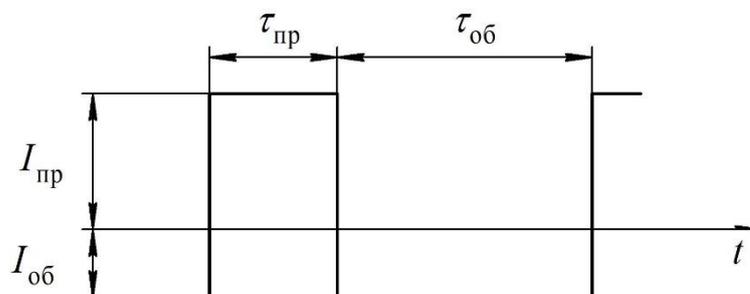


Рисунок 5 – Временные характеристики импульса сварочного тока

В ходе проведения исследований установлено, что амплитудное значение и длительность протекания прямого и обратного импульсов тока в значительной степени влияет на протяженность окисных включений в сварной шов. В таблице 3 представлены характеристики включений в зависимости от временных параметров импульса тока.

Таблица 3 – Протяженность включений в зависимости от параметров сварочного импульса

«I _{пр} , А	I _{об} , А	τ _{пр} , мс	τ _{об} , мс	f, Гц	I _{о.п.} , мм/м	I _{max} , мм
290	290	4,6	4,6	109	78	9
		8,0	8,0	63	86	10
		10,4	10,4	48	102	12
		8,0	12,8	48	73	9
		4,6	8,0	79	65	9
		6,1	12,8	53	64	8
		4,6	10,4	67	59	8
440	220	4,6	4,6	109	58	7
		8,0	8,0	63	67	9
		10,4	10,4	48	79	9
		8,0	12,8	48	47	6
		4,6	8,0	79	40	6
		6,1	12,8	53	38	5
		4,6	10,4	67	31	5» [23]

Уменьшение протяженности включений наблюдается при увеличении длительности импульса тока обратной полярности и уменьшении длительности импульса тока прямой полярности, что объясняется усилением протекающего при токе обратной полярности процесса катодной очистки. При амплитудной асимметрии импульсов прямой и обратной полярности наблюдается колебательное действие дуги на сварочную ванну, которое получается в результате перепадов давления дуги. При протекании импульса тока прямой полярности наблюдается силовое воздействие дуги на металл сварочной ванны, сварочная дуга погружается в расплавленный металл, происходит дробление утонувшей в расплавленном металле окисной пленки и её подъем из донной части ванны в приповерхностные слои. Таким образом, асимметричный ток с отношением амплитуды прямого тока к

амплитуде обратного тока как 2:1, отношением длительности прямого тока к длительности обратного тока как 1:2, позволяет получить максимальное разрушение окисных включений. За счёт перемешивания расплавленного металла окисные пленки в течение импульса прямой полярности поднимаются с донной части ванны, а в течение импульса обратной полярности – разрушаются. При этом протяженность включений уменьшается в 3 раза по сравнению со сваркой стационарной дугой. Применение асимметричного тока позволяет интенсифицировать очистку поверхности присадочной проволоки, что устраняет основную причину образования в сварном шве нитевидных включений окислов.

Условия выделения из расплавленного металла сварочной ванны растворённых в нем газов также улучшаются при «применении импульсной сварки с асимметричными импульсами тока. Объем пор в этом случае на 60...70 % уменьшается по сравнению с объемом пор при сварке симметричными импульсами тока и при сварке стационарной дугой. В таблице 4 представлены результаты исследования влияния параметров импульса на пористость при сварке» [23].

Таблица 4 – Влияние параметров импульсов тока на пористость при сварке алюминиевых сплавов

I _{пр} , А	I _{об} , А	τ _{пр} , мс	τ _{об} , мс	Количество пор на 100 мм шва, шт., диаметром, мм			Суммарное количество пор, шт.	Объём пор на 100 мм шва, мм ²	Расположение пор
				0,1...0,3	0,4...0,6	0,7...1,0			
«260*	260	10,4	10,4	255	38	27	320	12,2	Ш+ЗС
360**	180	10,4	10,4	212	26	19	257	8,7	ЗС
170**	340	10,4	10,4	219	19	15	253	7,0	ЗС
260***	260	11,4	6,0	221	29	21	271	9,6	Ш+ЗС
250***	250	7,0	14,0	208	17	18	243	7,8	Ш+ЗС

* симметричный ток

** асимметричный по амплитуде ток

*** асимметричный по длительности ток

Ш – сварной шов, ЗС – зона сплавления, Ш+ЗС – сварной шов и зона сплавления» [23]

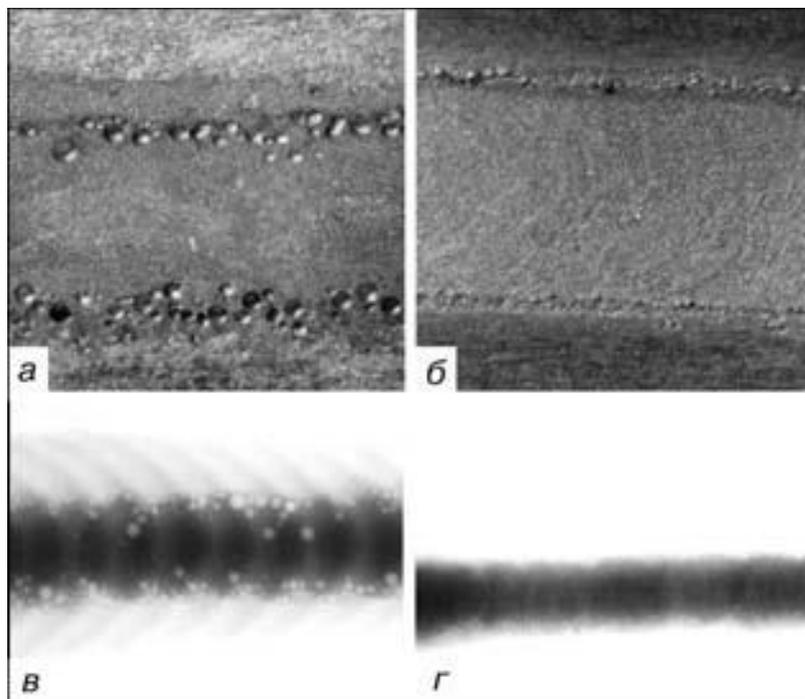
Применение пульсирующей дуги, как было показано ранее, приводит к ударному воздействию на поверхность сварочной ванны, в которой происходит перемешивание расплавленного металла сварочной ванны, его дегазация, выдавливание вверх ванны окисных плен и их разрушение. Частота модулированного тока должна составлять при этом $f_m=1...4$ Гц. Параметры окисных плен при различных параметрах импульса тока представлена в таблице 5. Из представленных данных видно, что эффективность динамического действия дуги при частоте более 4 Гц снижается.

Таблица 5 – Параметры окисных плен при различных параметрах импульса «тока»

I_n, A	I_p, A	$\tau_n, мс$	$\tau_p, мс$	$\frac{\tau_p}{\tau_n+\tau_p}, \%$	$f_m, Гц$	$l_{o.p.}, мм/м$	$l_{max}, мм$
445	135	62,5	62,5	50	8	126	20
365	110	87,5	37,5	70	8	116	18
445	135	125,0	125,0	50	4	119	16
365	110	175,0	75,0	70	4	103	12
340	100	200,0	50,0	80	4	85	8
445	135	250,0	250,0	50	2	137	9
365	110	350,0	150,0	70	2	107	8
340	100	400,0	100,0	80	2	82	7
445	135	500,0	500,0	50	1	194	11
365	110	700,0	300,0	70	1	95	8
340	100	800,0	200,0	80	1	90» [23]	8

На рисунке 6 представлены макрошлифы корня шва со снятым проплавом. По которым можно оценить пористость в корневом слое сварного шва при различных параметрах модулированного импульса сварочного тока. Малая частота пульсации тока, при которой увеличивается длительность импульсов, характеризуется повышенной пористостью, что показано на рисунке 6-а. поры имеют диаметр порядка 1 мм, их суммарный объем равен $10...17 мм^3$ на 1 погонный метр сварного шва. При повышении частоты пульсаций до 5 Гц приводит уменьшению диаметра и количества пор, диаметр снижается до 0,3 мм, а суммарный объем составляет $1...1,5 мм^3$ на 1 погонный метр сварного шва. Пористость в этом случае представлена на

рисунке 6-б. Увеличение частоты пульсаций более 5 Гц приводит к повышению пористости сварного шва, что объясняется, по-видимому, тем, что при частой смене полярности всплывающие пузырьки газа не успевают достигнуть поверхности сварочной ванны.



а, в – «сварка пульсирующей дугой с $f_m = 1$ Гц;
б, г – сварка пульсирующей дугой с $f_m = 5$ Гц

Рисунок 6 – Макрошлифы корня шва со снятым проплавом (а, б – увеличение $\times 2$) и рентгенограмма швов сплава 1420 (в, г)» [23]

На основании проведенных исследований при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом предлагается применить импульсное питание дуги ассиметричными импульсами с частотой 5 Гц, отношением тока на прямой полярности к току на обратной полярности как 2:1 и отношению длительности импульса прямой полярности к длительности импульса обратной полярности как 1:2. Иными словами, должны соблюдаться условия $I_{пр} = 2I_{об}$ и $2\tau_{пр} = \tau_{об}$ и $f_m = 5$ Гц. Это позволит наиболее полно провести дегазацию сварочной ванны, уменьшить количество и размеры окисных плен в сварном шве. Суммарный объём пустот в сварном шве по сравнению со сваркой стационарной дугой уменьшается в 7...10 раз.

2.3 Оборудование для импульсной аргодуговой сварки неплавящимся электродом

Как показали многочисленные работы в области исследования процессов при сварке алюминиевых сплавов, проблема промышленного применения способа аргодуговой сварки неплавящимся электродом далека от своего окончательного решения. Как показала практика применения этого способа сварки при изготовлении и ремонте деталей различного назначения, значительным потенциалом обладает сварка импульсами прямоугольной формы. Как показано выше, применение импульсной дуги с асимметричной формой прямого и обратного импульсов позволяет обеспечить оптимальное тепловое и силовое воздействие на сварочную ванну, обеспечить дегазацию металла сварочной ванны и более эффективно разрушать окисные пленки. Кроме того, при импульсной дуге снижается нагрузка на неплавящийся электрод. В работе [25] российскими исследователями-сварщиками предложено устройство для формирования импульсов тока при аргодуговой сварке неплавящимся электродом, которое предлагается применить при реализации проектной технологии. На рисунке 7 представлена функциональная схема такого устройства, в состав которого входят два источника сварочного тока – основной, показанный на схеме позицией 5, и дополнительный источник тока, показанный на схеме позицией 6. Источники питания 5 и 6 являются источниками постоянного тока. Формирование импульсов и задание их длительности выполняется силовыми тиристорами, обозначенными на схеме позициями 1...4. Также в устройстве имеется переключатель режимов, обозначенный на функциональной схеме позицией 7. Построенный таким образом сварочный инвертор формирует переменный ток прямоугольной формы, входными клеммами такого инвертора являются клеммы 8 и 9, выходными клеммами инвертора являются клеммы 10 и 11. Деталь обозначена позицией 13, сварочный электрод обозначен на схеме позицией 12.

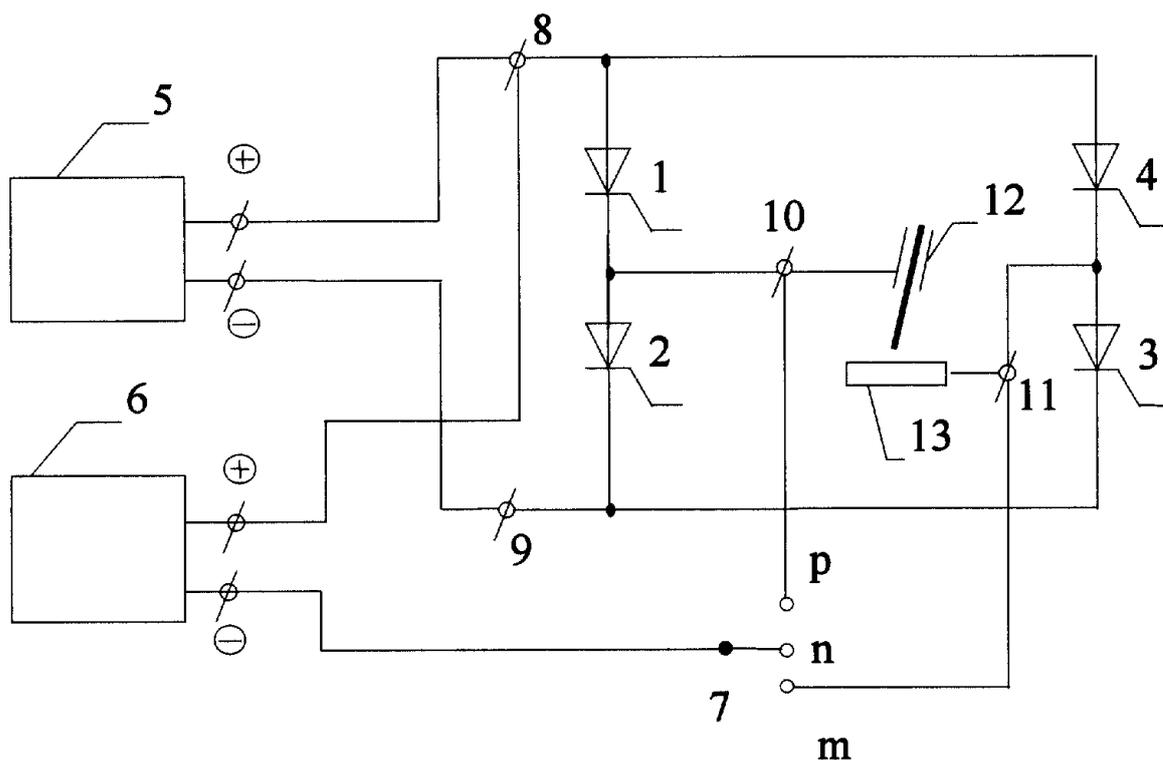


Рисунок 7 – Функциональная схема устройства для формирования импульсов при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом

Основной источник питания, который обозначен на функциональной схеме позицией 5, подключается к входным клеммам инвертора 8 и 9. К выходным клеммам 10 и 11 инвертора подключается полюс «минус» дополнительного источника питания, который обозначен на функциональной схеме позицией 6, причем подключение происходит через переключатель 7. При включении переключки 7 в положение «m» обеспечиваются повышенные значения тока в импульсах обратной полярности. При переключении переключки 7 в положение «n» выполняется сварка равными по амплитуде импульсами. При переключении переключки 7 в положение «p» выполняется сварка на повышенных значениях тока в импульсах прямой полярности.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет регулировать проплавленную способность дуги при сварке импульсами тока прямоугольной формы. Сила тока в импульсах с увеличенным значением тока составляет сумму токов основного и дополнительного источников. Сила тока в импульсе с малым значением равна току основного источника.

2.4 Операции проектного технологического процесса ремонтной сварки

Погружение детали в раствор солей происходит при температуре 400 °С на 12 минут. «В раствор солей входит едкий натр в количестве 65...70 грамм на литр раствора, азотнокислый натрий в количестве 25...30 грамм на литр раствора, хлористый натрий в количестве 5 грамм на литр раствора. Для погружения в раствор кислот применяют смесь из ортофосфорной кислоты и ангидрида, концентрация компонентов в котором составляет 8,5 моль на литр кислоты и 12,5 грамм на литр ангидрида. Температура кислотного раствора составляет 85...95 °С, длительность погружения в кислотный раствор составляет 5 минут» [8]. При вымачивании в растворе «Лабомид-101» концентрация раствора составляет 30 грамм на литр, длительность вымачивания составляет 10...25 минут при температуре 90...100 °С.

Если обнаруженные трещины имеют длину более 50 мм, то такую головку следует забраковать и отправить на утилизацию. Если на детали присутствует более двух трещин, суммарная длина которых превышает 50 мм, то такую деталь также следует признать неремонтопригодной. Неремонтопригодными также признаются детали, в которых трещины проходят в камеру сгорания.

Для того, чтобы уменьшить уровень остаточных напряжений в конструкции, необходимо выполнить предварительный подогрев детали до температуры 250 °С. Также в печь, нагретую до этой температуры помещается деталь после сварки, которая потом охлаждается вместе с печью.

Заварку дефекта следует выполнять за один прием, не допускается перерывов до завершения ремонтной сварки. Ремонтную сварку выполняют с применением установки из двух сварочных выпрямителей ВДУ-506 и формирователя импульсов сварки. Сварку выполняют в среде чистого аргона, поставка которого на участок выполняется баллонами серого цвета. В

качестве присадочной проволоки применяют порезанную на прутки проволоку СВАК10 диаметром 3 мм. Диаметр вольфрамового электрода ЭВЛ составляет 4 мм.

Из бухты сварочной проволоки нарезают прутки, которые перед сваркой проходят химическую очистку в 10 % растворе щелочи NaOH в течение 5...10 минут с температурой 60...70 °С. После химической обработки проволоки её просушивают сжатым воздухом.

Сварку проводят при величине тока 150...200 А, диаметр присадочной проволоки составляет 3 мм, диаметр неплавящегося электрода составляет 4 мм. Расход аргона составляет 10...12 литров в минуту.

Применяется следующая техника сварки. Замыкают проволоку на дефект, далее разводят сварочную ванну и подают в неё присадочную проволоку, заправляя разделку валиками. Регулирование расплавления присадочной проволоки выполняется переключением подачи питания с проволоки на деталь. При этом, если питание поступает на деталь, скорость плавления присадочной проволоки уменьшается.

При внешнем осмотре выявляют видимые дефекты сварки – выходящие на поверхность трещины и поры, изменение цветов побежалости (что не является дефектом сварки, но свидетельствует о высокой вероятности дефекта в области изменения цвета), кратеры, вольфрамовые включения. Визуальный контроль проводят невооруженным глазом и с применением увеличительной лупы 4...10 крат. Размеры шва и обнаруженных дефектов оценивают с применением универсального шаблона сварщика. Выявление внутренних дефектов проводят с применением ультразвукового дефектоскопа УД2-102.

Выводы по второму разделу

Сформулированные выше задачи выпускной квалификационной работы решены, выполнено обоснование выбора способа ремонтной сварки, повышена его эффективность при ремонте. составлена проектная технология исправления дефектов на деталях машин из алюминиевых сплавов.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы рассмотрен вопрос построения проектной технологии ремонтной сварки при исправлении дефектов головки блоков цилиндра автомобиля, которая выполнена из алюминиевых сплавов. Для построения проектной технологии предлагается применить сварку неплавящимся электродом с модулированными импульсами тока, что позволяет повысить производительность сварочных работ и уменьшить количество дефектов в сварном шве. При реализации технологических процессов на современном производстве необходимо обеспечить безопасность персонала, нейтрализовав опасные и вредные производственные факторы. Также следует предусмотреть мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производства и защите окружающей среды от антропогенных факторов, которые действуют на окружающую среду в результате реализации проектной технологии.

Анализ проектной технологии исправления дефекта на детали представлен в таблице 6. Укрупненно технологию можно разбить на три операции, выполнение которых сопровождается возникновением опасных и вредных производственных факторов. Первая операция – подготовка дефектного места, вторая операция – заварка дефектного места, третья операция – контроль качества. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 5, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 5. Также для выполнения операции могут потребоваться расходные материалы. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на три операции.

Таблица 6 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование
1. «Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	1) машина моечная 2) дробеструйная камера 3) щетка металлическая 4) компрессор 5) сверлильный станок
2. Заварка дефектного места	Электросварщик	1) источник питания 2) сварочная горелка
3. Контроль качества» [6]	Дефектоскопист	1) лупа 2) дефектоскоп 3) штангенциркуль 4) твердомер 5) контрольный стол

На основании данных таблицы 6 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

При реализации проектной технологии в ходе выполнения операций с применением оборудования и материалов неизбежно образование профессиональных рисков, действие которых на персонал может стать причиной возникновения профессиональных заболеваний (под воздействием вредных факторов) или даже привести к травмам и смерти (под воздействием опасных факторов). Помимо применяемого сварочного оборудования источником профессиональных рисков при ремонтной сварке становится сама сварочная дуга и вредные испарения. В таблице 7 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

По результатам идентификации профессиональных рисков может быть выполнена их адекватная оценка и предложены меры защиты, позволяющие полностью нейтрализовать негативный фактор или уменьшить его до приемлемого уровня.

Таблица 7 – Идентификация негативных производственных факторов

«Операция	Негативный фактор
1. Подготовка дефектного участка	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование; - повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;
2. Заварка дефектного места	– 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, – повышенная температура поверхностей оборудования, материалов, – инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации, – ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений,
3. Контроль качества	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; – ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [2]

Как видно из таблицы 7, представленные негативные факторы, возникновение которых возможно в ходе реализации проектной технологии, ранее возникали в производстве и успешно устранялись с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий. Перечень предлагаемых к проведению мероприятий и применяемых технических средств из арсенала предприятия будет представлен далее.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

На основании ранее проведенных работ по идентификации профессиональных рисков, возникновение которых происходит при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – «Устранение профессиональных рисков»

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений»	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

По результатам анализа» [2] представленных в таблице 8 данных можно признать, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 8 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски. Дальнейшие работы над настоящим разделом следует продолжить в направлении обеспечения пожарной и экологической безопасности производства.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Проведение сварочных работ характеризуется повышенной пожарной опасностью, что объясняется высокой температурой сварочной дуги, разлетающихся при сварке искр и теплового излучения. По этой причине при построении сварочного производства следует особое внимание уделить его пожарной безопасности. Также следует принимать во внимание, что для выполнения сварочных работ применяется силовая аппаратура, предусматривающая питание от повышенного напряжения, что становится дополнительным фактором опасности, повышающим вероятность возникновения пожара и усложняющим его тушение. В таблице 9 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 9 – Идентификация класса потенциального пожара

«Наименование участка	Участок ремонтной сварки
Наименование оборудования	Моечная машина, воздушный компрессор, наплавочная установка, дробеструйная камера, электрическая печь
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [2]	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

На основании анализа данных, которые были сведены в таблицу 9, потенциальный пожар на рассматриваемом технологическом участке, если таковой случится, будет отнесен к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения;

затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 10 – 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» [2]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия. Особое внимание следует уделить мероприятиям, снижающим опасность возникновения пожара, так как пожар лучше предотвратить, чем тушить и устранять его последствия. К таким мероприятиям следует отнести содержание в порядке рабочих мест, недопущение складирования на участке горючего мусора, тряпок, картона, пенопласта. Кроме того, следует проводить периодический инструктаж персонала по противопожарной дисциплине. В случае возгорания его следует локализовать и постараться потушить имеющимися средствами, обращению с которыми следует обучать персонал предприятия.

3.5 Экологическая безопасность

Современное предприятие характеризуется не только повышенной безопасностью технологических процессов по отношению к персоналу и противопожарной безопасностью, но и бережным отношением в окружающей среде. В настоящее время человек осознал свою ответственность за сохранение природных ресурсов, в мировую повестку включены вопросы природосбережения. Реализация технологического процесса становится причиной возникновения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и при неблагоприятном исходе могут стать причиной экологической катастрофы, если накопление антропогенных факторов превысит определенный предел. Предлагаемые мероприятия предполагают уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы.

Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 11. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 11 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	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» [1]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
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» [1]

Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела настоящей выпускной квалификационной работы проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, действию которых может подвергнуться персонал при реализации проектного технологического процесса ремонтной сварки деталей двигателя из алюминиевых сплавов. На основании анализа этих факторов представлены стандартные технические средства и организационные мероприятия, применение которых на производстве позволяет устранить действующий фактор или уменьшить его действие до приемлемого уровня. Представленные в работе средства являются стандартными из резерва современного предприятия, разработки специальных мер по обеспечению безопасности персонала не требуется.

Также в настоящем разделе рассмотрены мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и меры по устранению пожара, если таковой случится на предприятии.

Кроме того, были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности. Также была рассмотрена опасность возникновения пожара на предприятии, для устранения которой предусмотрены соответствующие средства.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при исправлении дефектов головки цилиндра автомобиля КАМАЗ, которая выполняется из литейного алюминиевого сплава. В числе недостатков базовой технологии, которая предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, следует указать низкую производительность процесса, высокие требования, предъявляемые к сварщику, и необходимость повторной разделки и заварки по причине обнаружения дефектов в сварном шве.

Для построения проектного технологического процесса ремонтной сварки предложено применить аргонодуговую сварку неплавящимся электродом. На основании разработок отечественных исследователей-сварщиков предложены меры по повышению эффективности предлагаемого способа ремонтной сварки. Составлена проектная технология ремонтной сварки.

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 12. Применение предлагаемых решений позволяет повысить устранить перечисленные недостатки, повысить производительность и качество сварочных работ.

Ожидаемый эффект будет получен за счёт повышения производительности и уменьшения затрат на материалы. Также следует ожидать уменьшение затрат на оборудование, так как повышение производительности приводит к снижению коэффициента загрузки оборудования.

Таблица 12 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	300 тыс.	800 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	40	40
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [14].

4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени F_H и эффективного фонда рабочего времени F_3 , который отличается от фонда рабочего времени s по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени B . Для расчётов принимается $B=7\%$.

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен K_{CM} и количество рабочих дней в году D_p , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем $K_{CM}=1$ и $D_p=277$. С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет $T_{CM}=8$ часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве $D_{II}=7$ дней, в эти дни на величину $T_{II}=1$ час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{CM} - D_{II} \cdot T_{II}) \cdot K_{CM} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным $B = 7\%$, таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

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

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени $F_3 = 2054$ часов.

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется» [14] на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$, для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени для базового $t_{шт.баз}$ и проектного $t_{шт.проектн.}$ вариантов технологии «составит:

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

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

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

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы P_g , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и эффективного фонда времени $F_э$, расчёт годовой программы выполняется по формуле

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

Согласно (4) были получены для базового варианта $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,21 = 1700$ дефектов за год, для проектного варианта $\Pi_{\Gamma} = 2054/0,847 = 2425$ дефектов за год. С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 1000 исправляемых дефектов в год. С учётом годового эффективного фонда времени $F_{\text{э}} = 2054$ часов, годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 1000$, коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, штучного времени $t_{\text{шт}}$ количество оборудования рассчитывается как

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 1,21$ часов, $n_{\text{расч.}} = 1,21 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,57$, при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 0,42$ часов, $n_{\text{расч.}} = 0,847 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте $n=1$. Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$ следующим образом» [14]

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен $K_{\text{з}} = 0,57/1 = 0,57$, для проектного варианта коэффициент загрузки равен $K_{\text{з}} = 0,4/1 = 0,4$. Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых выступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{ТЗ} = 1,05$, нормы расхода H_p и цены Π_M материалов:

$$M = \Pi_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

«Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{баз.} = (80 \cdot 0,0252 + 130 \cdot 0,414 + 3000 \cdot 0,000495) \cdot 1,05 = 60$ руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{баз.} = (80 \cdot 0,0216 + 130 \cdot 0,342 + 3000 \cdot 0,000468) \cdot 1,05 = 50$ руб.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ является составной фонда заработной платы» [14] ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени $t_{шт}$, и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет $C_ч = 300$ рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_d = 1,88$. Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 1,21$ часов, поэтому согласно (8) размер основной

заработной платы $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 1,21 \cdot 1,88 = 682$ рублей; для проектного варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{\text{шт}} = 0,847$ часов, согласно (8) основная заработная плата $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 0,847 \cdot 1,88 = 478$ рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$, для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит $K_{\text{доп}} = 0,12$. Величина $Z_{\text{доп}}$ пропорциональна основной заработной плате $Z_{\text{осн}}$:

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{\text{осн}} = 379$ рублей, поэтому согласно (9) $Z_{\text{доп}} = 682 \cdot 0,12 = 82$ рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{\text{осн}} = 478$ рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}} = 478 \cdot 0,12 = 57$ рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной $Z_{\text{доп}}$ заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП = $682 + 82 = 764$ рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП = $478 + 57 = 535$ рублей.

Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}} = 0,34$, с учётом которого:

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

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

Амортизационные отчисления $A_{об}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{об}$ и «рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5\%$: эффективного фонда времени $F_э$, стоимости оборудования $\Pi_{об}$, которое для базового варианта составляет $\Pi_{об} = 300000$ рублей, для проектного варианта $\Pi_{об} = 800000$ рублей; машинного времени $t_{маш}$, которое для базового варианта составляет $t_{маш} = 1,21$ часов, для проектного варианта $t_{маш} = 0,847$ часов.

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

Для базового варианта технологии согласно (10) $A_{об} = 300000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 2054 / 100 = 38$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{об} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,847 / 2054 / 100 = 71$ рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование $Z_{об}$ являются затраты на электрическую энергию $P_{ээ}$. Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии $\Pi_{ээ}$, которая для рассматриваемого варианта принимается $\Pi_{ээ} = 4,7$ руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени $t_{маш}$ и установленной мощности оборудования $M_{уст}$.

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

Согласно (12) для базового варианта $P_{ээ} = 10 \cdot 1,21 \cdot 4,7 / 0,85 = 67$ рублей. Согласно (12) для проектного варианта $P_{ээ} = 10 \cdot 0,847 \cdot 4,7 / 0,85 = 47$ рублей.

Затраты на оборудование $Z_{об}$ являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

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

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии $Z_{об} = 38 + 67 = 105$ рублей, для проектного варианта технологии $Z_{об} = 71 + 47 = 118$ рублей» [14].

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 764 рублей, в проектном варианте ФЗП = 535 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте $M = 60$ рублей, в проектном варианте $M = 50$ рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте $O_{сс} = 260$ рублей, в проектном варианте $O_{сс} = 182$ рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте $Z_{об} = 105$ рублей, в проектном варианте $Z_{об} = 118$ рублей), затрат на площади (в базовом варианте $Z_{пл} = 40$ рублей, в проектном варианте $Z_{пл} = 29$ рублей). Таким образом:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сс} + Z_{об} + Z_{пл}. \quad (14)$$

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта $C_{тех} = 60 + 764 + 260 + 105 + 40 = 1229$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{тех} = 50 + 535 + 182 + 118 + 29 = 914$ рублей.

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

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

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

Расчёт заводской себестоимости $C_{зав}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента заводских расходов $K_{зав} = 1,15$ » [14]:

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

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

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 13, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 8.

Таблица 13 – 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» [14]	С _{зав}	3036	2181

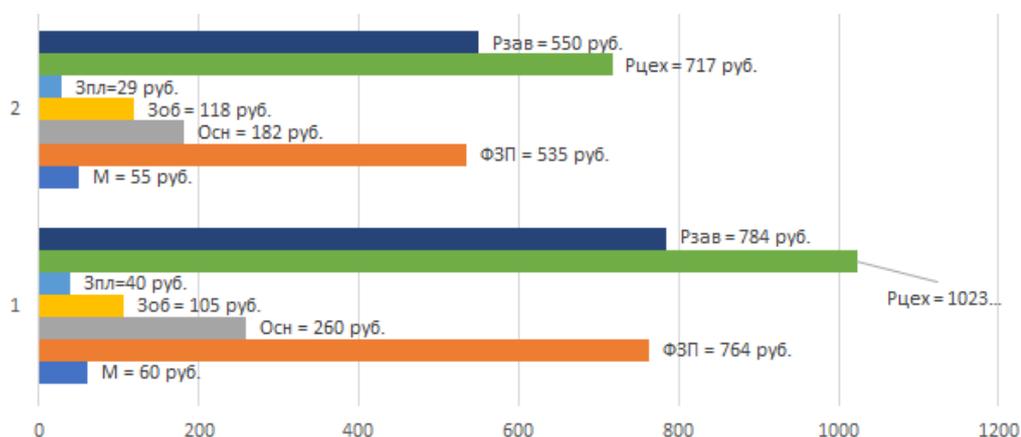


Рисунок 8 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом в проектном варианте по сравнению с базовым отмечается существенное снижение затрат на материалы, фонд заработной платы и отчисления на социальные нужды.

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $\Pi_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 3$ года, и цены нового оборудования на рынке $\Pi_{перв.}$, которая принимается $\Pi_{перв.} = 300000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

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

Согласно (17) $\Pi_{об.б.} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 106500$ рублей.

«Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,57$, с учётом которого для остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.} = 106500$ рублей общие капитальные затраты составят:

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

Для расчета размеров капитальных затрат $K_{общ. пр.}$ по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади $K_{пл. пр.}$, капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$ и сопутствующих затрат $K_{соп.}$:

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования $\Pi_{об. пр.} = 800000$ рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{тз} = 1,05$ и коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,4$. Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$:

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет $K_{об.пр} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,40 = 336000$ рублей.

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем}$. Расчёты ведутся по формуле» [14]

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$. С учётом ранее заданной цены оборудования $C_{об.б} = 300000$ рублей расходы на демонтаж $P_{дем}$ составят:

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{д} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $C_{об. пр.}$ с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{мон} = 0,05$:

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{м} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов $K_{соп}$ согласно (21) составляет $K_{соп} = 15000 + 40000 = 65000$ рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.}$ согласно (19) составляет $K_{общ. пр.} = 336000 + 65000 = 401000$ рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.} = 401000$ рублей и капитальных затрат по базовой технологии $K_{общ. б.} = 60705$ рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты $K_{доп}$:

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

Удельные капитальные вложения $K_{уд}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{общ}$ к годовой программе Π_T согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_T . \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 60705/1000 = 60,7$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 401000 / 1000 = 401$ руб./ед.

4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$, которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта $t_{шт пр} = 1,21$ часов и штучного времени для базового варианта $t_{шт б} = 0,847$ часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (1,21 - 0,847) \cdot 100 \% / 1,21 = 30 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда Π_T , рассчитываемая как

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

Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии $C_{тех.б} = 1229$ рублей и себестоимости по проектной технологии $C_{тех.пр.} = 914$ рублей:

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

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам $C_{\text{зав.б.}} = 3036$ рублей и $C_{\text{тех.пр.}} = 2181$ рублей. Расчёты ведутся по формуле

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

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается для $K_{\text{доп}} = 340295$ рублей и $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 855000$ рублей по формуле:

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}} = 0,33$. С учётом дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}} = 340295$ рублей и условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 855000$ рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

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

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 0,855 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 30 %, производительности труда повышается на 43 %. Технологическая себестоимость снижается на 26 %. Годовой экономический эффект оценивается в 0,74 миллионов рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при исправлении дефектов головки цилиндра автомобиля КАМАЗ, которая выполняется из литейного алюминиевого сплава. В числе недостатков базовой технологии, которая предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, следует указать низкую производительность процесса, высокие требования, предъявляемые к сварщику, и необходимость повторной разделки и заварки по причине обнаружения дефектов в сварном шве.

Анализ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки деталей машин из алюминиевых сплавов позволяет для детального анализа рассмотреть такие способы восстановления: ручная дуговая сварка покрытым электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, плазменная сварка, сварка трехфазной дугой. В ходе выполнения исполнительского раздела обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии. На основании разработок отечественных исследователей-сварщиков предложены меры по повышению эффективности предлагаемого способа ремонтной сварки. Составлена проектная технология ремонтной сварки.

При выполнении оценочных разделов проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет около одного миллиона рублей. Результаты работы предлагаются к внедрению на ремонтных предприятиях Российской Федерации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
3. Гуреева М. А., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Конструкционные материалы. 2009. № 11 С. 27–41.
4. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2015. 325 с.
5. Ельцов, В.В. Объект исследований — трехфазная сварочная дуга / В.В. Ельцов // 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.
6. Ельцов, В.В. Ремонтная сварка и наплавка изделий из легких сплавов : учеб. пособие / В.В. Ельцов, В.Ф. Матягин.— Тольятти : ТГУ, 2007. – 215 с.
7. Ельцов В. В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов.: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2012. 176 с.
8. Ельцов, В. В. Формирование сварочной ванны при наплавке трехфазной дугой неплавящимися электродами с подачей присадочной проволоки / В.В. Ельцов, В.П. Потехин, А.С. Зеленков // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 12. С. 2-6.
9. 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.
10. Ищенко А. Я., Довбищенко И. В., Машин В. С. Особенности сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом в неоне и его смесях с гелием и аргоном // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 41–44.

11. Калеко Д. М. Современные способы дуговой сварки алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 1994. № 5–6. С. 35–37.
12. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1. С. 17-23.
13. 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.
14. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
15. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
16. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
17. Лукьянов В. Ф., Фомин В. Н., Моисеенко В. П. Влияние окисных включений на прочность сварных соединений сосудов давления из сплава АМг6 // Сварочное производство. 1970. № 6. С. 24–27.
18. 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.
19. Моисеенко И. Г., Столбов В. И., Турченко М. А. Окисные включения при сварке сплава АМг6 // Сварочное производство. 1968. № 5. С. 23–24.
20. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

21. Олабоде М., Ках. П., Мартикайнен Дж. Металлургические особенности сварки высокопрочного алюминиевого сплава 7025-T6 // Автоматическая сварка. 2012. № 4. С. 24–35.

22. 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.

23. Покляцкий А. Г., Гринюк А.А. Влияние параметров асимметричного и модулированного токов на качество сварных соединений алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2001. № 7. С. 33–36.

24. 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.

25. Потапов А.Н. Разработка оборудования и технологии сварки алюминиевых сплавов разнополярными импульсами тока прямоугольной формы: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / А.Н. Потапов. Волгоград: ТГУ. 2003.

26. Рабкин Д. М., Игнатъев В. Г., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев : Изд-во "Наукова думка", 1983. 80 с.

27. 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.

28. Смирнов И.В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 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. 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.

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

32. Щицын Ю. Д., Синани И. Л., Белинин Д. С., Неулыбин С.Д. Совершенствование технологий плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и сложнолегированных сплавов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 427–431.

33. Mario H., Hirata Yo, Makino H. Reetangular wale AC TIG arc welding of aluminum alloy // Quarterly journal of JWS. 1989. № 7. С. 63–69.