

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технология ремонта отливок из алюминиевых сплавов

Обучающийся

С.Б. Галашев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

ст. преподаватель А.Н. Кирюшкина

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

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассматривается проблема повышения эффективности сварочных операций при ремонте отливок из алюминиевых сплавов. Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследования и сформулирована цель. Далее при выполнении аналитического раздела рассмотрены особенности исправления дефектов с применением базовой технологии, предусматривающей сварку неплавящимся электродом в защитных газах. На основании анализа недостатков базовой технологии и научных работ по тематике сварки алюминиевых сплавов выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу. В ходе решения первой задачи обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии ремонта отливок. Предложено применить перспективный способ сварки трехфазной сжатой дугой. В ходе решения второй задачи рассмотрены вопросы построения оборудования, позволяющего повысить эффективность предложенного способа сварки. В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология исправления дефектов на отливках из алюминиевых сплавов. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований, проведение которых предполагается в ходе выполнения магистерской диссертации.

Abstract

In the graduate qualification work the problem of increasing the efficiency of welding operations in the repair of aluminium alloy castings is considered. In the introduction the relevance of the chosen direction of research is justified and the purpose is formulated. Then, when performing the analytical section, the features of defects correction with the use of basic technology, providing welding with a non-fusion electrode in shielding gases, are considered.

On the basis of the analysis of deficiencies of the basic technology and scientific works on the subject of welding of aluminium alloys the tasks for the final qualification work are set. In the course of solving the first problem, the choice of welding method for the construction of the design technology of repair of castings is justified. It is proposed to apply a promising method of three-phase compressed arc welding. In the course of solution of the second task the question of construction of the equipment allowing to increase efficiency of the offered welding method is considered. In the course of solution of the third task the design technology of defects correction on aluminium alloy castings is made. In the evaluation sections the identification of negative production factors is carried out and measures for their elimination are proposed. Also in the evaluation section a comparative analysis of economic indicators of the basic and project technological process of repair welding has been carried out, on the basis of which a conclusion has been made about the economic feasibility of introducing the proposed technological solutions into production. The conclusion formulates conclusions on the final qualification work, shows the achievement of the set goal and directions of further research, which is supposed to be carried out in the course of the master's thesis.

Содержание

Введение	6
1 Современное состояние сварочных технологий при выполнении ремонта отливок из алюминиевых сплавов.	8
1.1 Описание исправляемых дефектов алюминиевых отливок.	8
1.2 Анализ материала детали.	11
1.3 Особенности выполнения базовой технологии сварки.	13
1.4 Анализ научной литературы по направлению исследования.	16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	24
2 Проектная технология исправления дефектов на отливках из алюминиевых сплавов.	25
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки при исправлении дефектов на отливках из алюминиевых сплавов.	25
2.2 Расширение технологических возможностей сварки.	31
2.3 Проектная технология исправления дефектов.	33
3 Промышленная безопасность производственного участка.	37
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	37
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	38
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	40
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	42
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	44
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	46
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	46
4.2 Фонд времени работы оборудования.	48
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства.	49
4.4 Заводская себестоимость.	51

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	57
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	59
Заключение	61
Список используемой литературы и используемых источников.	62

Введение

Применение алюминиевых сплавов в машиностроении позволяет получить ряд положительных эффектов, которые позволяют судить о высокой потенциале данного материала. При этом наибольшее количество алюминия производится и потребляется локомотивом современной промышленности – Соединенными Штатами Америки [17], на долю которых приходится порядка 20 % всего потребляемого алюминия. На долю Китая приходится порядка 19 %, Западная Европа потребляет приблизительно 16 %. На долю Восточной Европы, включая Россию, приходится всего 2 % потребления алюминия. Таким образом, приходится констатировать, что уровень производства и потребления алюминия в Российской Федерации не соответствует мировым трендам, потребление алюминия должно быть увеличено. Высокий потенциал данного материала кроется в его уникальных свойствах – малая удельная плотность при относительно высокой прочности сплавов, достигающей прочности низколегированных сталей. При использовании алюминия в транспортном машиностроении существенно снижается потребление топлива и повышается экологичность перевозок. По оценкам экспертов, в каждом легковом автомобиле количество применяемых алюминиевых сплавов в ближайшее время будет достигать 200 кг, а в каждом грузовом автомобиле масса применяемых алюминиевых сплавов может достигать 2000 кг [7]. Повышение стоимости производства автомобилей с использованием алюминиевых сплавов окупается снижением затрат на топливо и повышением грузоподъемности. Ещё одним перспективным направлением применения алюминиевых сплавов является вагоностроение, в котором эффект от облегчения конструкции возрастает многократно [19]. Помимо перспективных направлений, в которых ожидается быстрый рост потребления алюминиевых сплавов, следует принимать во внимание уже устоявшиеся отрасли промышленности, в которых потребление алюминия стабильно высокое и будет только увеличиваться, например, авиастроение и

ракетостроение. В массе самолета приблизительно 90 % составляют детали из алюминиевых сплавов. Также следует указать на направление, которое первоначально упускается рядом аналитиков – это производство упаковки, в которой ежегодно потребляется приблизительно 5 кг алюминия в год на каждого жителя страны. Помимо этого, еще одним направлением, в котором применение алюминиевых сплавов будет увеличиваться значительными темпами, является кораблестроение. Расчёт позволяют прогнозировать увеличение грузоподъемности корабля на 40 % лишь при замене 12 % стальных конструкций на алюминиевые. Скорость передвижения судна и его маневренность увеличиваются. Таким образом, следует ожидать многократного повышения потребления алюминия мировом машиностроении. При этом, с учётом того, что алюминий может подвергаться вторичной переработке, на первый план выходят вопросы повышения вторичной переработки, при которых решающее значение играет процесс литья [1], [5], [25]. Как показывает мировая практика литьё из алюминиевых сплавов, приблизительно 10 % продукции имеет те или иные дефекты, большинство из которых считается устранимыми с применением сварочных технологий [2]. Таким образом, при литье алюминиевых сплавов приходится решать не только вопросы, связанные с особенностью изготовления литых заготовок, но и затруднения, связанные со сваркой деталей из алюминиевых сплавов. Во-первых, интенсивный теплоотвод в тело массивной отливки усложняет отделение растворенных в сварочной ванне газов, что становится причиной пористости. Во-вторых, повышенная скорость охлаждения алюминиевой отливки после ремонтной сварки вызывает в теле отливки образование остаточных напряжений, которые отрицательно проявляют себя в ходе дальнейшей механической обработки и эксплуатации детали [8], [9], [11], [33]. В-третьих, принимать во внимание общие проблемы сварки алюминия – повышенное содержание включений. Поставленная **цель** – повышение эффективности ремонтной сварки при исправлении дефектов на алюминиевых отливках.

1 Современное состояние сварочных технологий при выполнении ремонта отливок из алюминиевых сплавов

1.1 Описание исправляемых дефектов алюминиевых отливок

Типовой деталью, при изготовлении заготовок для которой с использованием методов литья, возникает значительное количество дефектов, является представленная на рисунке 1 картер коробки передач легкового автомобиля. Еще одной типовой деталью, исправление дефектов литья на которой необходимо рассмотреть в настоящей выпускной квалификационной работе, является представленная на рисунке 2 головка блока цилиндров легкового автомобиля.



Рисунок 1 – Картер коробки передач легкового автомобиля

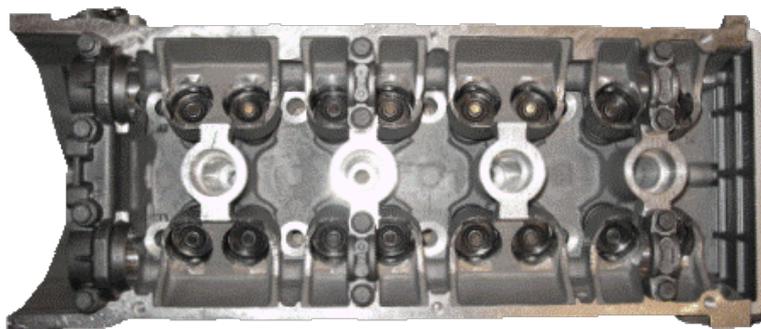


Рисунок 2 – Головка блока цилиндров легкового автомобиля

Рассматриваемые детали с точки зрения литья имеют сложную конструкцию, так как содержат значительное количество переходов и

участков с изменением сечения. При изготовлении деталей машин с применением технологии литья необходимо принимать во внимание, что выявление литейного дефекта может проходить на всех стадиях технологического процесса, включая чистовую обточку, так как после снятия очередного слоя металла возможно вскрытие очередного дефекта, который ранее не был обнаружен. Анализ информации по браку позволяет заключить, что около 10 % всех отливок сопровождаются дефектами различного рода, возникновение которых обусловлено технологическими особенностями литья алюминия и его сплавов [28].

Причинами возникновения дефектов являются изменение состояния литейного оборудования и оснастки, изменение параметров расплава, изменение условий кристаллизации и охлаждения отливки. При этом один и тот же вид дефекта может возникать по различным причинам, а комплексное действие неблагоприятных факторов вызывает непропорциональное изменение в количестве и размерах дефектов. Основными дефектами при литье алюминиевых заготовок являются [28] рыхлоты. На рисунке 3 представлена примеры рыхлот, которые возникли при литье отливок из вторичного сплава АЛ9 [16]. Возникающие рыхлоты являются устранимыми дефектами и возникают по причине нарушения технологии заливки формы (превышение времени затвердевания, перегрев заливочной формы, недостаточное давление, перегрев заливаемого расплава). Если такой дефект не обнаружить и не устранить, что в дальнейшем при выполнении механической обработки и в ходе эксплуатации детали рыхлота становится очагом возникновения трещины. На рисунке 4 представлен пример трещины, возникающий в теле отливки. Причиной возникновения горячих трещин является недостаточное давление при литье в форму под давлением, недостаточное количество подаваемого расплава, превышение времени затвердевания, нарушение состава расплава и его перегрев перед заливкой в форму. Причиной возникновения холодных трещин в отливках является нарушение конструкции формы, нарушение состава расплава. Возникающие в

отливках из алюминиевых сплавов трещины также являются устранимым дефектом и должны быть обнаружены и заварены с применением дуговых способов [31], [32].

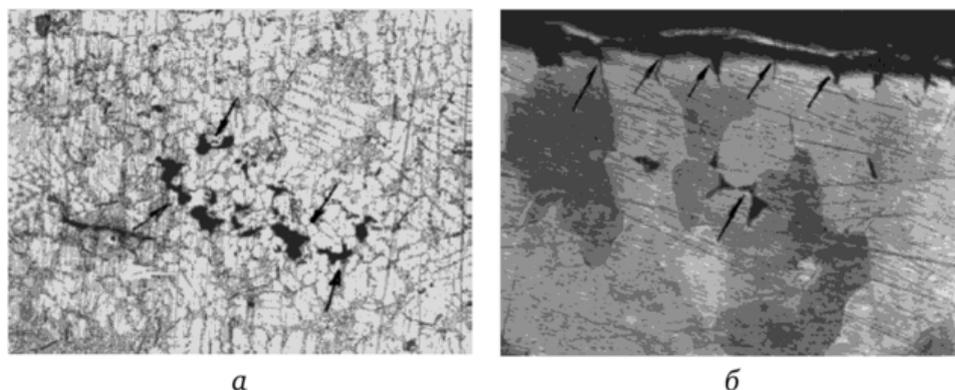


Рисунок 3 – Рыхлоты при литье заготовок из сплава АЛ9: микрорыхлоты (а) и травленный шлиф с микрорыхлотами (б)

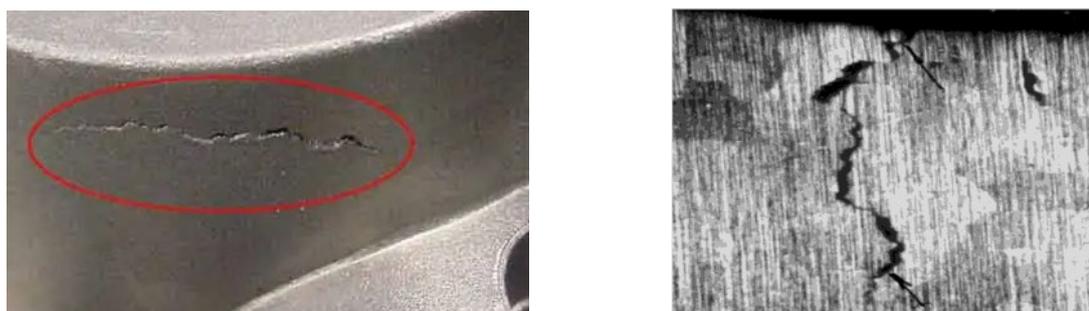


Рисунок 4 – Примеры трещин при литье алюминиевых заготовок

Исправление дефектов на отливках происходит с применением сварочных технологий. Для уточнения геометрии дефекта применяются визуальные или рентгеновские методы контроля. Следует принимать во внимание, что обнаружение дефектов литья может происходить на всех стадиях обработки отливки – от извлечения из формы до механической обработки, так как в процессе снятия слоев металла может обнаруживаться новый дефект, а также проявляться скрытые дефекты по мере релаксации напряжений. Значительное количество дефектов возникает при литье элементов двигателя внутреннего сгорания из алюминиевых сплавов, которые нашли широкое применение как в авиационной технике, так и в автомобильной промышленности [13].

1.2 Анализ материала детали

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос исправления дефектов литья на заготовках из алюминиевых сплавов. В качестве типовой детали принят картер коробки передач, который выполняется из сплава АЛ9, состав сплава представлен в таблице 1. Также в качестве детали принята головка блока цилиндров, которая выполняется из сплава АК12М1, информация о составе сплава также представлена в таблице 1

Представленные к рассмотрению сплавы получили широкое применение при изготовлении отливок деталей, работающих в тяжелых температурных условиях. Благодаря высокому содержанию кремния такие сплавы обладают высокой текучестью, что позволяет изготавливать детали сложной конфигурации. При планировании состава алюминиевого сплава следует учитывать, что кремний может отрицательно повлиять на коррозионную стойкость, улучшить свариваемость сплава. Добавление в состав алюминиевого сплава магния удается повысить прочность изготавливаемой детали. Добавки меди повышают литейные свойства сплава, но, также как и кремний, снижают его стойкость против коррозии. Цинк повышает прочность алюминиевого сплава, но его высокое содержание может катастрофически сказаться на коррозионной стойкости в условиях действия высоких температур и щелочей. Добавки железа в сплав положительно сказываются на прочности, но также снижают коррозионную стойкость сплава. Таким образом, представленные сплавы представляют компромиссной вариант между коррозионной стойкостью и прочностью.

Таблица 1 – Информация о химическом составе рассматриваемых в выпускной квалификационной работе сплавов

Сплав	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ti+Zr	Sn
АЛ9	6-8	0,2-0,4	до 1,5	до 0,5	до 0,2	до 0,3	до 0,15	до 0,1
АК12М1	11-13	до 0,2	0,6-1	до 0,5	1,8-2,5	до 0,8	до 0,2	до 0,1

При выполнении ремонтной сварки следует принимать во внимание трудности, сопровождающие формирование соединений в конструкциях из алюминиевых сплавов. В качестве первого затруднения, с которым приходится сталкиваться при выполнении сварки деталей из алюминиевых сплавов, отметим окисную пленку на их поверхности, такая пленка не расплавляется в сварочной ванне, а из-за своей плотности погружается на её дно, загрязняя сварной шов и ухудшая его прочностные свойства. В качестве второго затруднения следует отметить, что растворенные в сварочной ванне газы не успевают полностью выделиться из неё в течение термического цикла, что вызывает высокую склонность сплава к образованию пор по причине высокой растворимости газов в расплавленном алюминии. Третьей трудностью является высокая склонность алюминиевых сплавов к образованию горячих трещин, что происходит по причине значительного уровня остаточных напряжений в сочетании с низкой прочностью и пластичностью металла в нагретом состоянии. Четвертой трудностью является высокий уровень остаточных напряжений после выполнения ремонтной сварки, что происходит по причине значительной величины коэффициента линейного расширения и кристаллизационной усадки, присущей алюминиевым сплавам. Таким образом, при выполнении ремонтной сварки могут быть рассмотрены только такие способы, которые позволяют успешно нейтрализовать описанные выше трудности или в значительной мере снизить их отрицательное влияние на сварное соединение. Применяемые способы сварки характеризуются высокой концентрацией энергии, способностью к разрушению окисной пленки. Таким способом являются «ручная дуговая сварка, сварка неплавящимся электродом в инертных газах, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка сжатой дугой» [17]. Повышение эффективности сварки алюминиевых сплавов достигается применением таких перспективных способов, как сварка неплавящимся электродом трехфазной дугой и плазменная сварка трехфазной дугой.

1.3 Особенности выполнения базовой технологии сварки

Базовая технология ремонтной сварки при исправлении дефектов литых деталей предусматривает применение сварки неплавящимся электродом в инертном газе. Сварку ведут с применением источника питания УДГУ-351, который представлен на рисунке 5. Данный источник питания специализирован под сварку неплавящимся электродом в инертных газах переменным током, но может выполнять сварку на постоянном токе, поэтому является универсальным, позволяет вести ручную сварку штучными электродами. Устойчивое горение дуги на переменном токе обеспечивается встроенным в сварочный источник стабилизатором горения дуги. Данный источник питания снабжен рядом защитных блокировок и предназначен для промышленного применения. Сварку ведут в среде аргона, который поставляется и хранится на сварочном участке в специализированных баллонах серого цвета, баллон с аргоном и элементы системы подготовки газа представлены на рисунке 6. В качестве присадочной проволоки для исправления дефектов литых деталей применяются предварительно нарезанные прутки из проволоки Св-АК5, в состав которой помимо алюминия добавлено 4,5...6% кремния и в качестве примесей могут присутствовать железо до 0,6%, медь до 0,1 % и цинк до 0,1 %, суммарное содержание примесей в проволоке не более 1 %.



Рисунок 5 – Сварочный источник питания УДГУ-351



Рисунок 6 – Баллон с аргоном на сварочном посту

В зависимости от диаметра присадочной проволоки назначают параметры режима сварки. При использовании проволоки диаметром 3 мм сварку ведут при силе тока 100...140 ампер и расходе аргона 8...10 литров в минуту, диаметр вольфрамового электрода 2 мм. При диаметре присадочной проволоки 4 мм сварку ведут на токе 140...170 ампер и расходе аргона 10...12 литров в минуту, диаметр вольфрамового электрода 3 мм.

Расположение дефекта на отливке определяют невооруженным глазом. Если существует необходимость, расположение дефекта может быть уточнено с применением методов рентгеновского контроля. После выявления границ дефекта следует провести его выборку с углом разделки 45° . Перед выполнением разделки, если будет завариваться трещина, необходимо засверлить её концы сверлом с диаметром 5 мм, засверливание выполняется на глубину залегания трещины плюс 2...4 мм, центр сверла должен отстоять от конца трещины на 3...5 мм. Разделку необходимо выполнять с полным удалением дефекта и заглублением на 3 мм. Литейную корку, окислы и другие загрязнения необходимо удалить с поверхности отливки по площади не менее 30 мм во все стороны от края разделки дефекта. Зачистка проводится с использованием шлифовальной машины и металлической щеткой. Допускается хранение отливок после очистки и разделки не более трех часов, в течение которых необходимо приступать к ремонтной сварке.

Перед выполнением ремонтной сварки необходимо нарезать и протравить проволоку. Длина отреза проволоки составляет 300...500 мм.

При заварке дефектов сварку ведут исключительно в нижнем положении с наклоном к горизонтали не более 30°. При заварке дефекта проволоку следует подавать только после того, как были оплавлены края дефекта и образована сварочная ванна с расплавленным металлом. Проволоку подают в сварочную ванну плавными возвратно-поступательными движениями небольшими порциями, добиваясь полного её расплавления. Усиление сварного шва при ремонтной заварке дефекта должно составлять 3...5 мм. При ведении сварочной горелки запрещено применять резкие движения, так как это нарушает газовую защиту и формирование сварного шва, следует поддерживать постоянное расстояние между соплом горелки и поверхностью отливки. Если на сопле горелки появилась копоть и следы окалины, необходимо провести его зачистку с применением металлической щетки.

При выполнении ремонтной сварки на отливках из алюминиевых сплавов качество сварного соединения в значительной степени определяется квалификацией исполнителя и соблюдением правильной техники сварки. Место сварки и прилегающие поверхности на расстоянии до 20 мм во все стороны от сварного шва должны быть зачищены от брызг расплавленного металла и иных загрязнений. При внешнем осмотре швов равномерная чешуйчатость и постоянство внешнего вида поверхности шва косвенным образом свидетельствуют о качестве соединения и вероятностном залегании дефектов в сварном шве. Если при внешнем осмотре может применяться лупа с увеличением 4...10 крат. На поверхности отливки не допускается наличие трещин, непроваров и несплавлений. Глубина подреза не может превышать 1 мм, не допускается наличие незаполненных кратеров. Для обнаружения внутренних дефектов применяется ультразвуковой дефектоскоп УД 2-102. При обнаружении недопустимого дефекта дефектное место следует вырубить и переварить.

1.4 Анализ научной литературы по направлению исследования

Для обеспечения высокого технологического уровня предлагаемый в выпускной квалификационной работе решений необходимо изучить опыт в области управления процессами при сварке алюминиевых сплавов, который в значительном объеме накоплен мировой и российской сварочной наукой. Поиск источников научно-технической информации предлагается вести в сети ИНТЕРНЕТ по базам знаний. Первая база знаний «ПАТОНПАБЛИШ» содержит информацию по разработкам и результатам внедрения сварочных технологий на предприятиях Украины, в основном в этой базе знаний представлен широкий пласт разработок сотрудников Института электросварки им. Е. О. Патона. Второй базой знаний является «Киберленинка» - этот проект представляет собой электронную библиотеку публикация по техническим наукам, доступных для бесплатного скачивания, база знаний снабжена удобным поисковым и фильтрационным механизмом, позволяющим вести поиск по интересующей тематике. Третьей базой знаний является «Е-лайбрери», в этом портале содержится информация о всех российских ученых и их публикациях, значительное количество публикация свободно для бесплатного скачивания и условно-бесплатного скачивания. Четвертой базой знаний является «Диссеркэт», в которой содержится информация о научных диссертациях, защищенных российскими учеными по различным тематикам, имеется возможность бесплатного получения текстов диссертаций и авторефератов. Кроме того, в указанных базах имеется возможность ознакомиться с техническим описанием патентов на изобретения. Таким образом, на основании поиска по указанным базам знаний будет сформирована полная картина, позволяющая выполнить предварительный отбор способов ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов и указать дальнейшее направление повышения эффективности выбранного способа сварки.

Сотрудниками Пермского национального исследовательского политехнического университета (Д. С. Белинин, Ю. Д. Шицын, Р. Г. Никулин, Т. В. Ольшанская) интенсивно разрабатывается вопрос применения плазменной сварки при исправлении дефектов отливок из алюминиевых сплавов. В работе [3] доказана эффективность применения плазменной сварки дугой обратной полярности при ремонте отливок и сплава АК7Ч. Рассмотрены вопрос исправления дефектов на крупногабаритных отливках при различных способа подготовки поверхности под ремонтную сварку. Представлены результаты исследования микроструктуры, «показано, что сварка сжатой дугой на токе обратной полярности при использовании предлагаемых режимов позволяет получить структуру металла сварного шва, сходную со структурой основного металла. На основании изучения результатов предыдущих исследований высказано предположение о высокой эффективности применения сварки сжатой дугой при исправлении дефектов на массивных деталях из алюминиевых сплавов» [24], [30], [34], [35д], что объясняется преимуществами сжатой дуги обратной полярности перед сжатой дугой прямой полярности. Применение сжатой дуги на обратной полярности позволяет обеспечить интенсивный локальный разогрев дефектного места, активизирует процесс катодной очистки и позволяет эффективно управлять вложением тепла в зону сварки. При этом производительность по сравнению с использованием дуги прямой полярности повышается в несколько раз, а затраты на последующую обработку зоны сварки и сварочные материалы в несколько раз снижаются. В работе рассматривался случай ремонтной сварки при исправлении дефектов на отливке корпуса из сплава АК7Ч, который представлен на рисунке 7. На этом же рисунке представлены обнаруженные дефекты и результат их исправления с применением предлагаемого способа ремонтной сварки.

Зачистку участка залегания дефекта выполняют на ширину 30 мм от границ разделки, саму выборку дефекта выполняют механическим способом по размерам, показанным на рисунке 8.

Для заварки дефекта предлагается применить представленный на рисунке 9 плазматрон модернизированной в соответствии с разработками кафедры сварки конструкции.



Рисунок 7 – Пример исправления дефектов на отливке корпуса направляющего аппарата

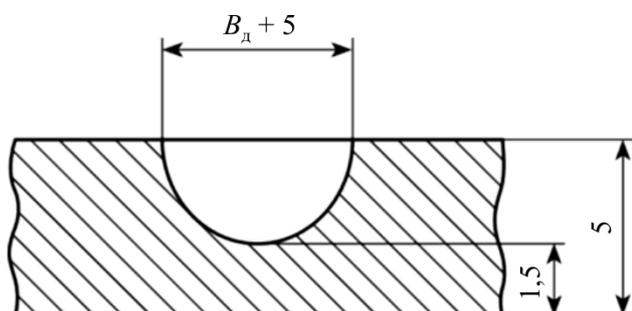


Рисунок 8 – Выборка дефекта



Рисунок 9 – Модернизированный плазматрон для ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов

При отработке технологии ремонтной сварки рассматривали несколько вариантов подготовки поверхности деталей: без предварительной подготовки и с выполнением предварительной подготовки (механическая очистка поверхности). При сварке по неподготовленной поверхности сила тока составляла 120 ампер, расход защитного газа 10 литров в минуту, расход плазмообразующего газа 5 литров в минуту, диаметр плазмообразующего сопла 4 мм. При сварке по подготовленной поверхности сила тока составляла 160 ампер, расход защитного газа 7 литров в минуту, расход плазмообразующего газа 5 литров в минуту, диаметр сопла 5 мм.

При наплавке валика на образцы-свидетели толщиной 12 мм, представленные на рисунке 10, установлено, что в обоих случаях дефекты в виде несплавлений отсутствуют. В обоих случаях наблюдается образование цепочек пор, размер которых при сварке образцов без подготовки поверхности достигает 1 мм, а при сварке образцов с подготовленной поверхностью – 0,3 мм. Такой размер пор в обоих случаях считается допустимым, а сварное соединение признается качественным.

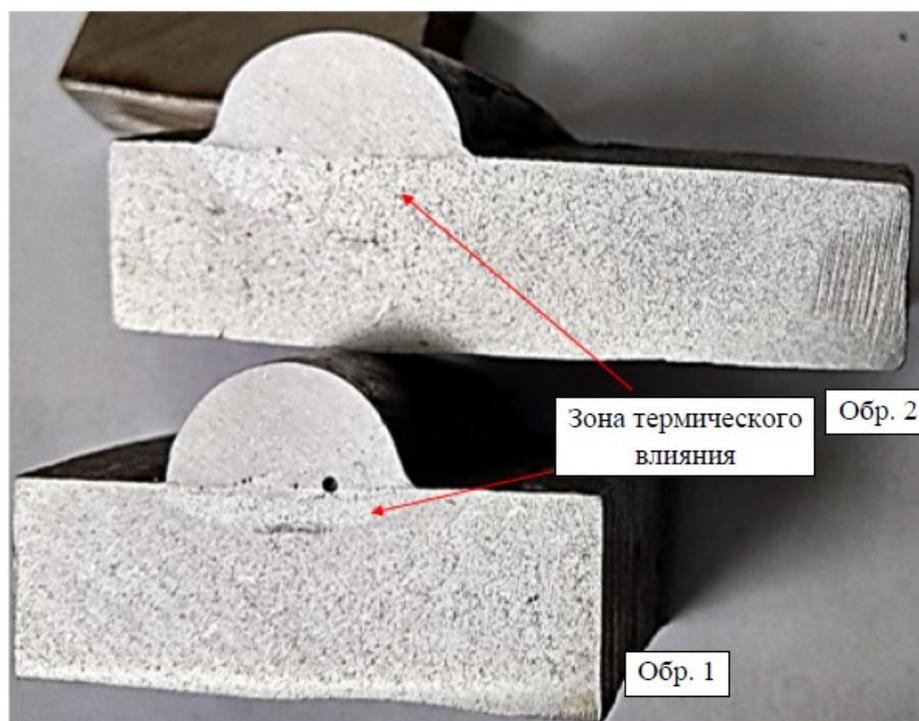


Рисунок 10 – Образцы-свидетели при проведении подготовки поверхности (образец 2) и сварке без подготовки поверхности (образец 1)

Коллективом кафедры сварки Тольяттинского государственного университета (В.П. Сидоров, В.В. Ельцов, Г. М. Короткова, К.В. Моторин) ведутся интенсивные разработки в направлении применения сварки трехфазной дугой при ремонтных работах на деталях из алюминиевых сплавов. В работе [18] поставлена цель – повышение эффективности ремонтных производств за счёт применения универсальных источников питания для трехфазной сварки. На основании построения вольтамперных характеристик дуги и источника питания проведен анализ устойчивости системы «источник-дуга». С получены осциллограммы тока и напряжения при сварке с применением трехфазной дуги, при анализе осциллограмм применена предложенная в работе методика количественной оценки фазных токов в факеле трехфазной дуги. рассматривались случаи горения свободной трехфазной дуги и сжатой трехфазной дуги. «Проведены металлографические исследования и механические испытания, представлены результаты промышленного внедрения результатов диссертационного исследования.

В работе показана эффективность применения трехфазной дуги при проведении ремонта деталей из алюминиевых сплавов» [18], предложены конструкции источников питания. На основании этой работы для последующего анализа и обоснования выбора способа сварки необходимо взять трехфазную сварку свободно горящей и сжатой дугой.

В работе [15] рассмотрены проблемы «ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов, которые решаются с применением механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения» [15]. Показано, что применение механизированной сварки по сравнению со сваркой неплавящимся электродом позволяет повысить производительность в несколько раз, при этом возникающие проблемы с дефектностью шва предлагается решать применением импульсной подачи проволоки, для чего разработаны модернизированные устройства подачи [14]. В работе показано, что применение импульсной подачи проволоки позволяет достигать эффектов, схожих с импульсным управлением сварочной дугой, реализуемым

современными дорогостоящими источниками питания, при этом могут применяться стандартные источники питания. Таким образом, существенно снижаются затраты на модернизацию сварочного оборудования. Предлагаемые решения внедрены на ряде предприятий, получены положительные отклики. Применение устройств импульсной подачи практически полностью устраняет разбрызгивание электродного металла, решает проблему пористости, так как улучшаются условия отделения растворенных в сварочной ванне газов, плотность сварного шва и качество становится соизмеримыми со свойствами шва, полученного с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Питание сварочной дуги выполняли от стандартного источника постоянного тока ВДУ-506. Сварку вели проволокой СВ-АК5, диаметр которой составлял 1,2 и 1,6 мм, подача проволоки осуществлялась модернизированным механизмом подачи ПШ-107-ВА, который представлен на рисунке 11. Сварку вели на токе 140-160 А. При импульсной подаче проволоки шаг подачи составлял 1,6 мм при частот импульсов 48...50 Гц. При этом расчётное ускорение расплавленной капли электродного металла составляет 40...50 м/с². На рисунке 12 представлены микрошлифы соединений, полученный при традиционной сварке и при сварке с импульсной подачей проволоки. Как видно, применение импульсной подачи позволяет существенно уменьшить количество дефектов сварном шве.



Рисунок 11 – Применяемое сварочное оборудование

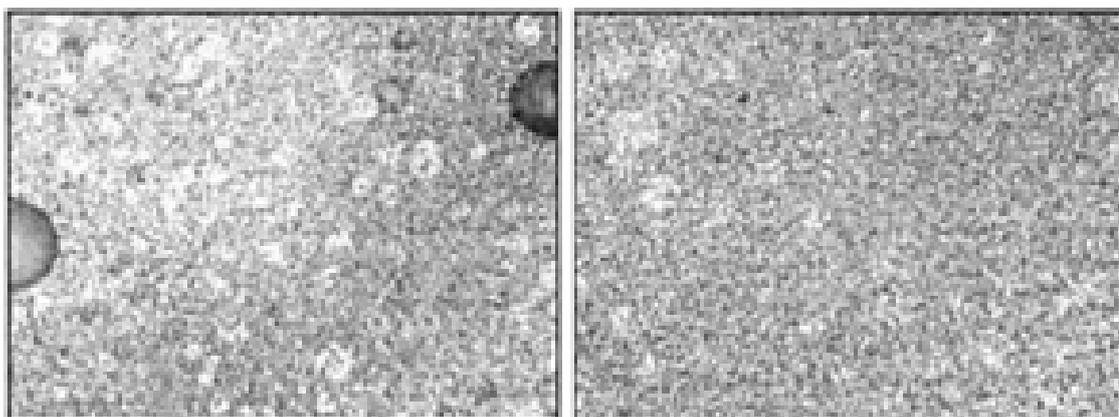


Рисунок 12 – Микрошлифы сварных швов, полученных при традиционной сварке и при сварке с импульсной подачей проволоки

«Данная работа позволяет судить о высоком потенциале механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Этот способ сварки должен быть рассмотрен при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии исправления отливок из алюминиевых сплавов.

Значительное количество работ и источников информации посвящено вопросу повышения эффективности сварки неплавящимся электродом при выполнении ремонта деталей из алюминиевых сплавов» [15]. Этот способ в настоящее время получил наибольшее распространение, так как позволяет сочетать универсальность и высокое качество соединений. В настоящее время для питания сварочной дуги предлагается применять управляемые разнополярные импульсы тока, что позволяет получать удовлетворительное качество катодной очистки, характерное для дуги на обратной полярности, с малой тепловой нагрузкой на неплавящийся электрод, что характерно для дуги на прямой полярности. Независимое управление сварочными импульсами позволяет в широком диапазоне регулировать процесс формирования соединения и тепловой баланс при сварке. Применение импульсного управления позволяет получить ударное воздействие сварочной дуги на поверхность сварочной ванны, что способствует ускорению отхождения растворенных в ней газов и снижает пористость сварного шва [20], [27], [29].

Для сварки разнополярными импульсами могут быть применены представленные на рисунке 13 источники тока, эффективность которых доказана в работе [23].



Рисунок 13 – Источники питания для аргодуговой сварки: BRIMA TIG 2500P (а), ИСВУ-315 (б), AURORA PRO (в)

Выполняли сварку образцов из сплава АМг6, сплава 1420 и сплава 1460. В первом случае в качестве присадки использовали проволоку одноименного состава, во втором случае в качестве присадки применяли проволоку СВ-АМг63, в третьем случае применили проволоку Св-1201. Выполняли традиционную сварку стационарной дугой (сварку вели на переменном токе промышленной частоты), импульсной дугой с симметричными импульсами и импульсной дугой с регулируемыми импульсами. По результатам исследований сделано заключение, что применение регулируемых разнополярных импульсов позволяет существенно улучшить условия формирования сварного соединения. При этом рекомендовано применять импульсы, в которых амплитуда тока прямой полярности превышает в два раза амплитуду импульса тока обратной полярности, а длительность импульса тока прямой полярности в два раза меньше длительности импульса тока обратной полярности. Такая форма импульсов при частоте пульсаций 5...10 Гц позволяет в 7...10 раз уменьшить количество пор в сварном шве, что положительно сказывается на качестве сварки и эксплуатационных характеристиках изделия.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы ожидается повышение производительности и качества сварочных работ при исправлении дефектов на заготовках деталей машин, полученных с применением технологии литья. В ходе подготовки введения обоснована актуальность выбранного направления исследования. Показано, что применение технологии литья позволяет выполнять детали вторичной переработкой из брака и лома, что обеспечивает итоговый высокий уровень экологичности процесса с учётом возможности вторичной переработки сырья. Сварка неплавящимся электродом, которая применяется при реализации базовой технологии, характеризуется рядом недостатков, которые признаны критическими и заставляют вести поиск в направлении повышения эффективности рассматриваемого процесса. Проведенный литературный поиск позволил рекомендовать ряд способов сварки, применение которых возможно для рассматриваемого случая. Проведенные работы позволили выполнить постановку задач на выпускную работу. В качестве первой задачи выступает экспертная оценка рассматриваемых способов сварки, на основании выполнения которой будет возможно обоснование выбора способа для построения проектной технологии. В качестве второй задачи выступает расширение технологических возможностей сварки с применением достижений отечественной сварочной науки. Третьей задачей является описание типового процесса ремонтной сварки при исправлении дефектов литья заготовок из сплавов алюминия. Кроме того, при выполнении оценочных разделов предстоит рассмотреть предлагаемые решения с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности, а также провести экономическое обоснование целесообразности внедрения. При составлении заключения следует выделить полученные результаты, показать их значимость для промышленности и дать оценку эффективности внедрения результатов в производство.

2 Проектная технология исправления дефектов на отливках из алюминиевых сплавов

2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки при исправлении дефектов на отливках из алюминиевых сплавов

При выполнении аналитического раздела настоящей выпускной квалификационной работ для проектной технологии были отобраны такие способы сварки: «аргодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка сжатой дугой, сварка свободно горящей трехфазной дугой, сварка трехфазной сжатой дугой» [17].

Схема выполнения сварки неплавящимся электродом представлена на рисунке 14 и включает в себя изделие 1, электрододержатель 2, вольфрамовый электрод 3, присадочный пруток 4, сварочную дугу 5, защитный газ 6, сварочную горелку 7, наплавленный металл 8, баллон с защитным газом 9. Качество выполняемых сварных швов при применении данного способа значительно превосходит качество, полученное ручной дуговой и механизированной сваркой. «В числе недостатков оказываются такие критические составляющие, как низкая производительность и высокие требования к квалификации сварщика. Также следует принимать во внимание, что в значительном количестве случаев приходится проводить повторную сварку из-за таких дефектов, как пористость и окисные включения в наплавленный металл. Повышение качества сварки может быть достигнуто применением в качестве защитной среды смеси гелия и аргона» [16], но при этом приходится считаться с увеличением стоимости сварочных работ.

На основании экспертного анализа по рассматриваемым технологическим критериям данный способ получает следующие оценки: производительность – 1, качество – 3, условия труда – 4, себестоимость – 4.

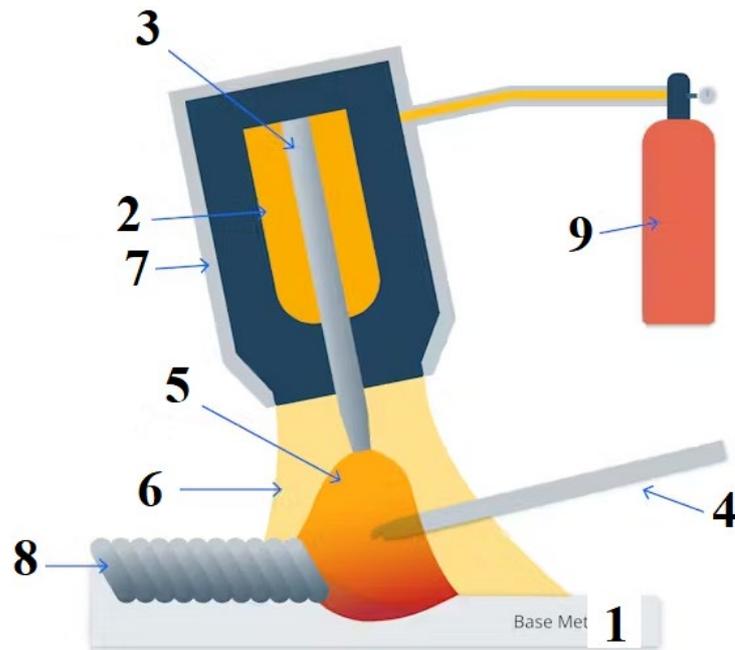


Рисунок 14 – Схема аргодуговой сварки неплавящимся электродом

Схема механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения представлена на рисунке 15 и включает в себя изделие 1, сварочную ванну 2, наплавленный металл 3, проволоку 4, контактный наконечник 5, защитный газ 6, сварочную дугу 7, направление сварки обозначено позицией 8.

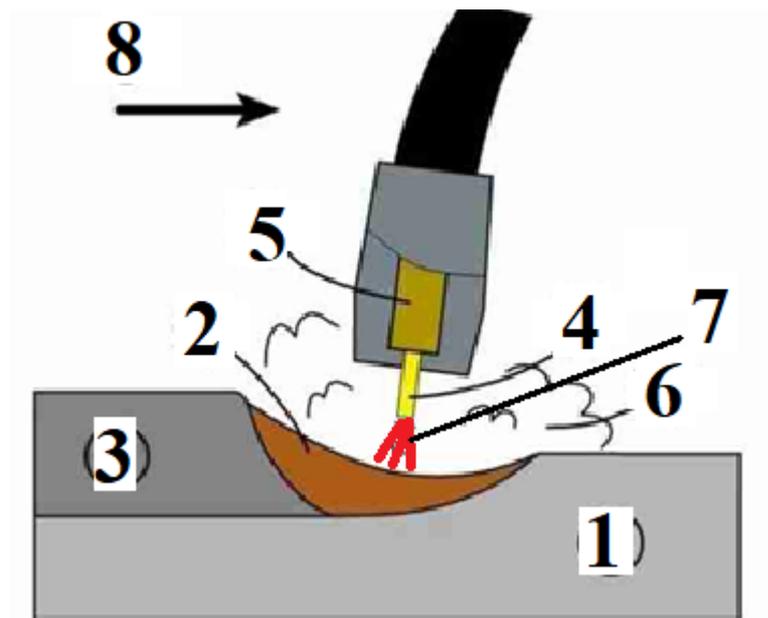


Рисунок 15 – Схема механизированной сварки в защитных газах

Как показала практика применения данного способа при исправлении дефектов алюминиевых деталей высокая эффективность способа обеспечивается при значительной толщине деталей [26]. По сравнению со сваркой неплавящимся электродом этот способ обеспечивает повышение производительности в несколько раз. Однако качество выполняемых соединений снижается. Следует принимать во внимание высокую пластичность сварочной проволоки из алюминиевых сплавов, что становится причиной её частого застревания в подающих механизмах, конструкция которых намного сложнее, чем конструкция подающих механизмов для сварки сталей. Также при прохождении сварочной проволоки через сопло горелки наблюдается ускоренное загрязнение поверхности сопла, что становится причиной дополнительных дефектов в сварном шве. Применение проволоки диаметром менее 2,5 мм при сварке алюминиевых деталей нецелесообразно по причине увеличения пористости металла сварного шва. Также следует указать на разбрызгивание электродного металла, которое может ограничить применение данного способа сварки и затруднить его реализацию при исправлении дефектов отливок.

На основании экспертного анализа по рассматриваемым технологическим критериям данный способ получает следующие оценки: производительность – 3, качество – 1, условия труда – 3, себестоимость – 5.

Схема сварки сжатой дугой представлена на рисунке 16 и включает в себя водоохлаждаемый держатель электрода 1, неплавящийся электрод 2, плазмообразующий газ 3, защитное сопло 4, плазмообразующее сопло 5, защитный газ 6, дугу 7, присадочный пруток 8, источник питания 9, осциллятор 10.

По сравнению со сваркой свободно горячей дугой применение плазменной сварки позволяет обеспечить большую концентрацию тепла, что повышает производительность и качество выполняемых швов, так как разрушение окисных включений проходит в этом случае более интенсивно. Также при таком способе уменьшается перегрев основного металла и расходы

на выполнение сварки, что повышает качество сварки и экономические показатели способа. Высокая стабильность горения сжатой дуги позволяет вести сварку в различных пространственных положениях, что обеспечивает удобство и качество при ремонте массивных литых заготовок и заготовок со сложной геометрией.

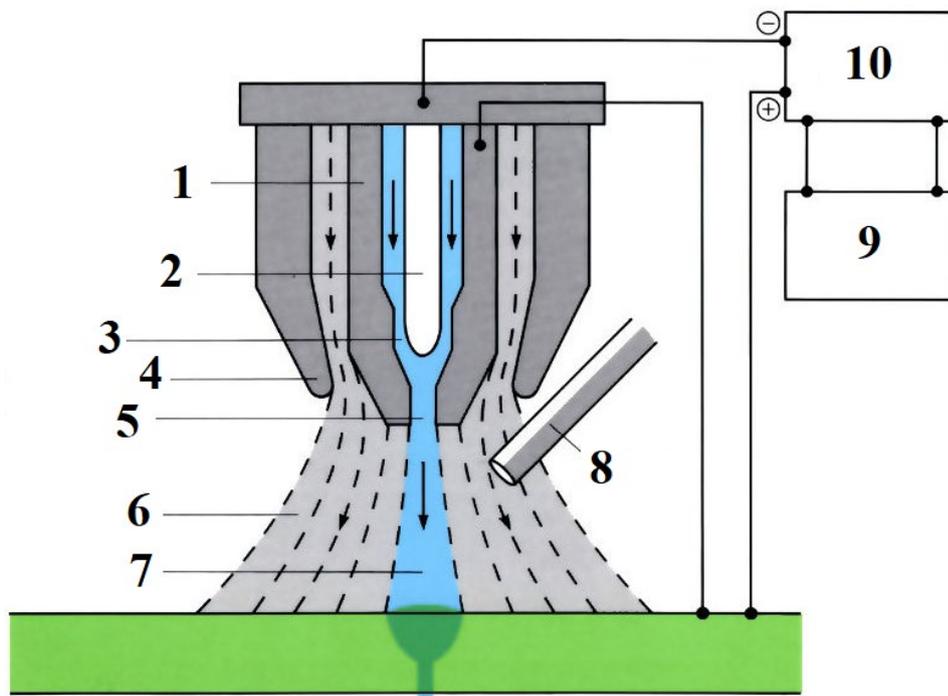


Рисунок 16 – Схема плазменной сварки

В числе недостатков сварки сжатой дугой следует указать высокую стоимость и сложность применяемого оборудования, что увеличивает капитальные затраты при внедрении способа в производство и делает его применение эффективным при условии массовости. На российском рынке отечественный производитель оборудования для плазменной сварки не представлен в достойном виде, что делает производство зависимым от поставок зарубежных высокотехнологичных компонентов.

На основании экспертного анализа по рассматриваемым технологическим критериям данный способ получает следующие оценки: производительность – 3, качество – 1, условия труда – 3, себестоимость – 5.

Схема сварки трехфазной свободно горящей дугой представлена на рисунке 17 и включает в себя изделие 1 и три поочередно горящие дуги. Дуга

2 горит между неплавящимися электродами 5 и 6. Ещё две дуги 3 и 4 горят между неплавящимися электродами и изделием. В течение всего времени процесса сварки поочередно горят дуги, в результате процесс стабилизируется. Также применение трехфазной дуги позволяет разгрузить питающую сеть предприятия и повысить коэффициент мощности применяемого оборудования.

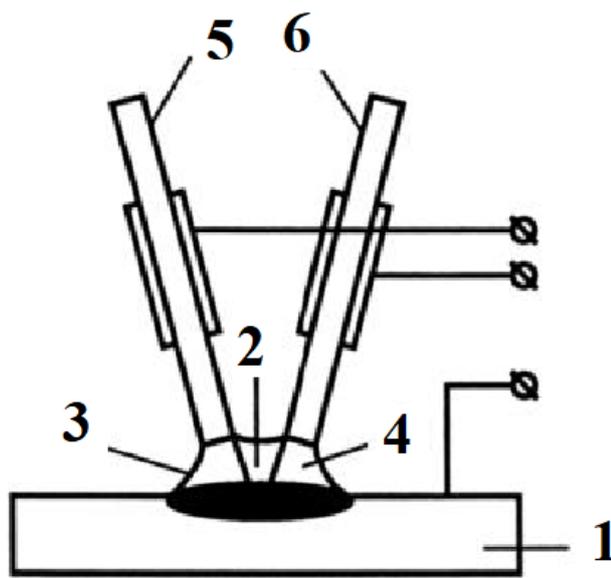


Рисунок 17 – Схема сварки свободно горящей трехфазной дугой

Сварка с применением трехфазной дуги позволяет помимо положительного влияния на заводскую сеть предприятия расширить технологические возможности процесса. Суммарная сила сварочного тока от трех дуг может достигать 3 тысяч ампер, что существенно повышает производительность. При сварке алюминиевых сплавов горение трехфазной дуги позволяет интенсифицировать процесс катодной очистки, что решает проблему пористости и оксидных включений в сварном шве. Кроме того, трехфазная дуга характеризуется высокой пространственной стабильностью, что позволяет вести процесс в различных пространственных положениях и исправлять дефекты на заготовках сложной конфигурации. Недостатком процесса является усложнение конструкции сварочной горелки и источника питания.

Повышение эффективности сварки трехфазной дугой может быть получено при использовании плазменной сварки. По сравнению со свободно горящей дугой процесс сварки сжатой дугой менее восприимчив к изменению расстояния от горелки до изделия, что позволяет обеспечивать стабильный процесс при ремонтной сварке по сложной траектории. Также следует принять во внимание, что применение сжатой дуги позволяет уменьшить расходы на защитный газ по сравнению со сваркой свободно горящей дугой. Плазменный процесс также позволяет повысить интенсивность процесса катодной очистки.

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить сварку трехфазной сжатой дугой, принципиальная схема способа представлена на рисунке 18 и включает в себя изделие 1 и три поочередно горящие дуги. Дуга 2 горит между неплавящимися электродами 5 и 6. Ещё две дуги 3 и 4 горят между неплавящимися электродами и изделием. Сжатие дуги выполняется водоохлаждаемым соплом 7.

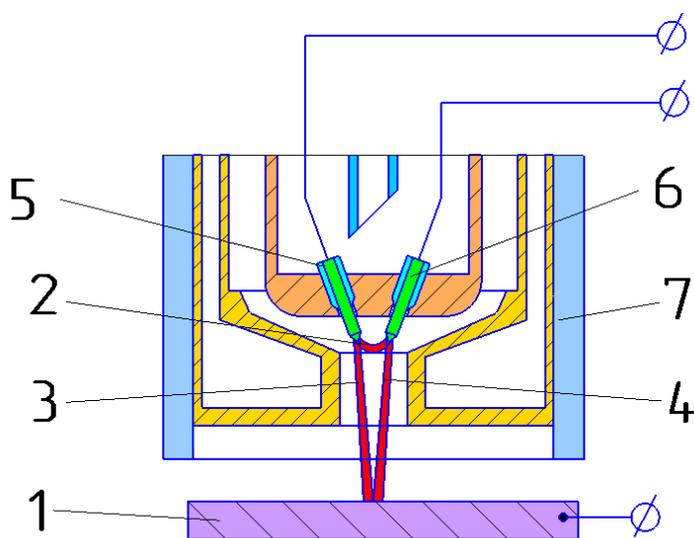


Рисунок 18 – Схема сварки трехфазной сжатой дугой

На основании экспертного анализа по рассматриваемым технологическим критериям данный способ получает следующие оценки: производительность – 3, качество – 1, условия труда – 3, себестоимость – 5.

2.2 Расширение технологических возможностей сварки

Для получения сжатой дуги применяются специализированные источники питания, вольтамперная характеристика которых падающая, и которые характеризуются высоким напряжением холостого хода. На рисунке 19 представлена предлагаемая схема питания трехфазной сжатой дуги. Факел сжатой дуги формируется в рабочей камере плазматрона и выдувается в зону сварки через отверстие сопла. Охлаждение нагреваемых частей плазматрона обеспечивается циркуляцией воды. В процессе работы плазматрона проходит поочередное горение трех дуг. Две дуги горят между неплавящимися электродами и деталью, это рабочие дуги прямого действия. Третья дуга горит между двумя неплавящимися электродами и является дежурной дугой. Питание дуг осуществляется от инвертора И1, подающего напряжение на первичную обмотку w_1 высокочастотного трансформатора Т1. Во вторичной обмотки w_2 происходит генерация сварочного тока с частотой 400 Гц. Таким образом. Сварка проходит на переменном токе частотой 400 Гц, при этом выпрямление тока со стороны вторичной обмотки трансформатора Т1 не выполняется. Подключение предлагаемой схемы к трехфазной сети переменного тока проходит через трехфазный выпрямитель В1, к которому подключаются фазы сети L1, L2, L3. При работе устройства в режиме холостого хода тиристоры VS1 и VS2 выключены. При кратковременном включении генератора высокой частоты ГВЧ включается реле К1 (контакты 1-2), что приводит к замыканию ключа К1 и включению тиристора VS1. Это вызывает зажигание дежурной дуги, ток которой ограничен резистором R4. В это же время происходит замыкание контактов 3-4 и включение тиристора VS2 через оптронную пару VU1. Это приводит к шунтированию ветви тиристора VS1, в результате чего происходит его гашение. Таким образом, дежурная дуга гаснет, а сварочная дуга зажигается. Инвертор И1 осуществляет преобразование постоянного тока в набор импульсов частотой 400 Гц, которые поступают на высокочастотный трансформатор Т1.

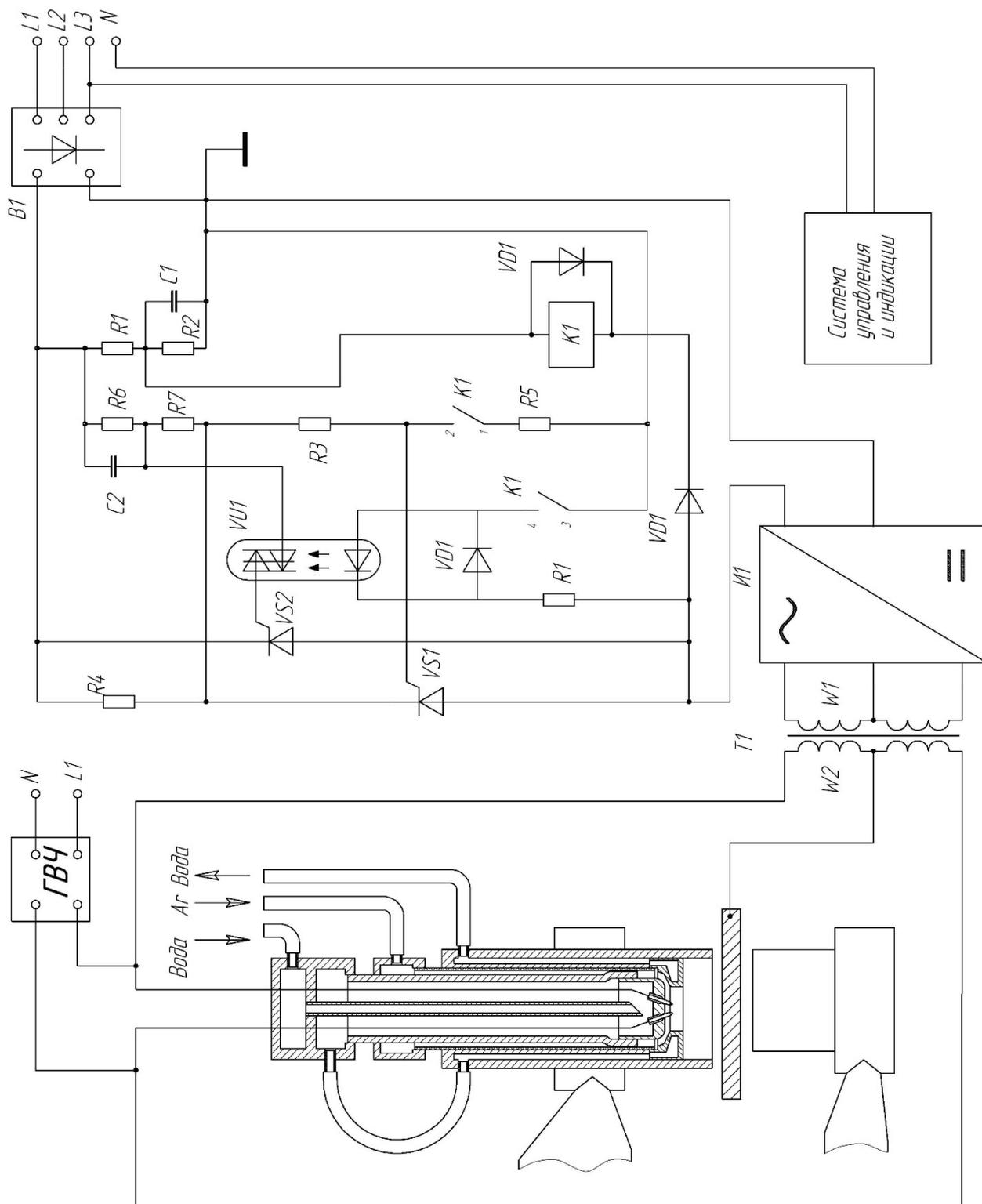


Рисунок 19 – Схема источника питания плазматрона

Газовая среда, подаваемая в рабочую зону плазматрона, выполняет следующие функции: защита от окисления вольфрамовых электродов, передача тепла к изделию, стабилизация плазменной струи

2.3 Проектная технология исправления дефектов

Качество проведения работ при ремонте деталей из алюминиевых сплавов в значительной мере определяется подготовительными операциями и общей культурой производства [10], [26]. Предварительно перед проведением восстановительных работ с применением сварки необходимо очистить поверхность присадочной проволоки и отливки. Если данная операция будет выполнена некачественно, из-за остатков окисной пленки в сварном соединении может быть получена пористость, что станет причиной снижения прочности металла сварного шва и его эксплуатационных свойств. Также следует принимать во внимание, что такие дефекты могут быть обнаружены на стадии механической обработки заготовки, что существенно усложнит процесс изготовления детали. При проведении подготовительных работ следует принимать во внимание, что после удаления застарелой окисной пленки вновь образующаяся пленка в течение 8...16 часов сохраняет незначительную толщину и практически не препятствует сварке, так как процесс катодного распыления позволяет эффективно устранить незначительные слои оксидов на поверхности детали.

Место на котором предполагается проведение ремонтной сварки, следует обработать щелочным раствором NaOH концентрации 10 %, который нагрет до температуры 60...70 °С. Удаление окисной пленки химическим способом проходит в течение 2...3 минут, далее поверхность следует тщательно промыть проточной водой с последующим обдувом теплым сухим воздухом до полного высыхания. Подготовку проволоки перед сваркой также проводят с применением химического травления, для этого проволоку нарезают на прутки и помещают в щелочной раствор NaOH, нагретый до температуры 60...70 °С. Продолжительность травления составляет 5...10 минут, после чего прутки следует промыть в проточной воде и просушить, обдувая сухим теплым воздухом.

Перед самой сваркой дефектное место следует разделить с применением механических способов. Если исправляется трещина, то положение её концов может быть выполнено с применением пламени газовой горелки. Далее на «концах трещины выполняется засверливание с применением сверла диаметром 5 мм и отступом от видимого конца трещины на 3...5 мм. При разделке несквозной трещины, что чаще сего происходит при исправлении дефектов на отливках, глубина разделки должна превышать глубину залегания трещины на 3 мм» [16].

Непосредственно перед самой сваркой следует выполнить очистку поверхности детали в месте сварки на ширину 15...25 мм от места залегания дефекта, для чего применяется проволочная щетка с щетинками из нержавеющей стали диаметром, не превышающим 0,15 мм. Наждачные круги при очистке не применяют, так как в этом случае поверхность деталей может содержать риски, становящимися причиной образования пор, так как в них забиваются остатки абразива. После зачистки поверхность следует протереть сухой ветошью. Подготовленная таким образом деталь годна к проведению сварочных работ в течение 5...6 часов, в противном случае следует повторить процесс подготовки перед сваркой.

Для выполнения ремонтной сварки предлагается применить разработку российских исследователей [22]. Это проволока с оригинальным составом. Основу проволоки составляет алюминий, в неё также входит кремний в количестве 4,5...6 %, хром в количестве 0,8...1,2 %, цирконий в количестве 0,7...1,2 % и титан в количестве 1...6 %. Причем титан содержится в сочетании свободного титана (содержание которого составляет не менее трети и не более половины всего титана, в противном случае эффективность модификации снижается) и частиц TiC или TiB₂. При обосновании предлагаемого состава проволоки авторами отмечается, что при выполнении сварных соединений в конструкциях и деталях из алюминиевых сплавов крайне нежелательным явлением признано увеличение размеров зерен металла, что может послужить причиной образования горячих трещин и

снижает эксплуатационные свойства изделий. Отмечается, что особенности химического состава присадочной проволоки оказывают решающее влияние на структуру наплавленного металла. При этом различать химические компоненты, обеспечивающие сходство состава наплавленного металла и основного металла, и компоненты, обеспечивающие получение требуемой структуры наплавленного металла. При этом необходимо применять способы, повышающие эффективность таких модифицирующих добавок, как титан и цирконий.

Сварка ведется на параметрах: диаметр присадочной проволоки 3 мм. Сила сварочного тока 180...200 ампер. Напряжение на дуге 28...32 вольта, диаметр формирующего сопла 6 мм, расход аргона 6...8 литров в минуту. По сравнению со сваркой свободно горячей дугой сварка сжатой дугой позволяет уменьшить расход аргона при более высоком качестве получаемых соединений и стабильности процесса.

При заварке дефектов сварку ведут исключительно в нижнем положении с наклоном к горизонтали не более 30°. При заварке дефекта проволоку следует подавать только после того, как были оплавлены края дефекта и образована сварочная ванна с расплавленным металлом. Проволоку подают в сварочную ванну плавными возвратно-поступательными движениями небольшими порциями, добиваясь полного её расплавления. Усиление сварного шва при ремонтной заварке дефекта должно составлять 3...5 мм. При ведении сварочной горелки запрещено применять резкие движения, так как это нарушает газовую защиту и формирование сварного шва, следует поддерживать постоянное расстояние между соплом горелки и поверхностью отливки. Если на сопле горелки появилась копоть и следу окалины, необходимо провести его зачистку с применением металлической щетки.

При выполнении ремонтной сварки на отливках из алюминиевых сплавов качество сварного соединения в значительной степени определяется квалификацией исполнителя и соблюдением правильной техники сварки. Место сварки и прилегающие поверхности на расстоянии до 20 мм во все

стороны от сварного шва должны быть зачищены от брызг расплавленного металла и иных загрязнений. При внешнем осмотре швов равномерная чешуйчатость и постоянство внешнего вида поверхности шва косвенным образом свидетельствуют о качестве соединения и вероятностном залегании дефектов в сварном шве. Если при внешнем осмотре может применяться лупа с увеличением 4...10 крат. На поверхности отливки не допускается наличие трещин, непроваров и несплавлений. Глубина подреза не может превышать 1 мм, не допускается наличие незаполненных кратеров. Для обнаружения внутренних дефектов применяется ультразвуковой дефектоскоп УД 2-102. При обнаружении недопустимого дефекта дефектное место следует вырубить и переварить.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел является исполнительским и содержит описание решения поставленных задач, в ходе выполнения которых проведено обоснование применения трехфазной сварки сжатой дугой для реализации проектной технологии. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее составлена проектная технология. Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, посвященном обеспечению промышленной и экологической безопасности, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [4], [6]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [12], [21]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В ходе исполнительского раздела настоящей выпускной квалификационной работы дано описание решений технологических задач, поставленных в первом разделе. За счёт предлагаемых технологических решений ожидается повышение качества и производительности ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производств должно приниматься на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка.

Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 2, которая дает начальную информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию.

Такие операции, как травление, промывка, сушка, зачистка и разделка, выполняются с привлечением слесаря-сборщика. Для их выполнения применяется ванна, компрессор, угловая шлифовальная машина, сверлильный станок, оснастка для крепления детали, проволока с нержавеющей щетиной.

Такие операции, как обезжиривание и сварка, выполняются сварщиком. Для них применяется источник питания, плазматрон, газовое оборудование присадочная проволока, ацетон. Внешний и ультразвуковой контроль выполняются дефектоскопистом с применением лупы, дефектоскопа, твердомера.

Таблица 2 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов

Наименование операции	Персонал	Оборудование и материалы
1. Травление	Слесарь-сборщик	Ванна, щелочной раствор
2. Промывка	Слесарь-сборщик	Ванна, вода техническая
3. Сушка	Слесарь-сборщик	Компрессор, сжатый воздух
4. Зачистка	Слесарь-сборщик	Угловая шлифовальная машина, щетка с нержавеющей щетиной
5. Разделка	Слесарь-сборщик	Сверлильный станок
6. Обезжиривание	Сварщик	Сварочный стол, ацетон
7. Сварка	Сварщик	Источник питания, плазматрон, газовая аппаратура, присадочный пруток
8. Внешний осмотр	Дефектоскопист	Контрольный стол, лупа, штангенциркуль
9. Ультразвуковой контроль	Дефектоскопист	Дефектоскоп, масло дефектоскопическое

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Реализация операций проектного технологического процесса может вызвать возникновение негативных производственных факторов, источниками которого выступает применяемое оборудование. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования, работающего при опасных уровнях напряжения и тока. В таблице 2 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов, для которых в дальнейшем предстоит вести разработку средств и методик защиты .

Таблица 3 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
1. Травление	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
2. Промывка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
3. Сушка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
4. Зачистка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
5. Разделка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
6. Обезжиривание	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
7. Сварка	<ul style="list-style-type: none"> - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
8. Внешний осмотр	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
9. Ультразвуковой контроль	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний

Представленные в таблице неблагоприятные производственные факторы могут быть разделены на вредные производственные факторы и опасные производственные факторы.

К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически.

К второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая.

Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее на основании анализа рассматриваемого технологического процесса была выполнена идентификация негативных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса. Далее следует провести оценку эффективности применения стандартных средств и методик, которые представлены в таблице 4. Всего рассматривается 12 негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено, при этом следует учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

Таблица 4 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
1) острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
2) движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
3) отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
4) отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
5) химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
7) опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
8) инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
9) ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
10) повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
11) химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
12) повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия» [24]

Анализ данных таблицы позволяет судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Участок, на котором проводятся сварочные и наплавочные работы, представляет повышенную опасность с точки зрения возникновения потенциального пожара. Источником возгорания может служить сама дуга, так как её горение характеризуется высокими температурами и «интенсивностью теплового излучения; брызги расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; сами нагретые поверхности. Также следует принимать во внимание, что питание сварочной дуги обеспечивается источниками, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение» [6]. В таблице 5 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 5 – Идентификация пожара на производственном участке

Наименование участка	Участок ремонтной сварки и наплавки по исправлению дефектов литья из алюминиевых сплавов
Наименование оборудования	«Помывочное оборудование, химическая ванна, воздушный компрессор, зачистная машинка, сверлильный станок, источник питания сжатой дуги, газовое оборудование, дефектоскоп
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	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [6]

Рассматриваемый пожар в случае возникновения помимо стандартных опасных факторов, к которым относят «пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры,

сопровождается появлением такого дополнительного опасного фактора, как поражение электрическим током» [6], поэтому возможный пожар следует отнести к категории «Е». В таблице 6 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 6 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение» [6]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Следует принимать во внимание, что пожар лучше предотвратить, чем потушить, поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора, могущего стать потенциальным топливом, к такому мусору относятся ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающих жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности. Запрещается работа на неисправном сварочном оборудовании. Необходимо проведение учений по пожарной безопасности и обеспечение участка средствами первичного пожаротушения.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Современное производство должно отвечать не только требованиям промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и наносить минимальный ущерб окружающей среде, так как бережное ответственное отношение к природным ресурсам выходит на первый план и включено в современную мировую повестку. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки при исправлении дефектов литья заготовок из алюминиевых сплавов, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 7 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 7 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

Наименование участка	Участок ремонтной сварки и наплавки по исправлению дефектов литья из алюминиевых сплавов
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.

Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела рассматривались вопросы, связанные с обеспечением безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка при реализации на нем проектной технологии ремонтной сварки.

На основании проведенного анализа технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Как показала экспертная оценка их эффективности, необходимый уровень безопасности обеспечивается с применением стандартных средств, и проведения специальной разработки не требуется. Проведенная оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В исполнительском разделе представлено решение поставленных технических задач. В частности, предложен способ ремонтной сварки трехфазной сжатой дугой деталей из алюминиевых сплавов и составлена проектная технология ремонтной сварки при исправлении дефектов литья заготовок из алюминиевых сплавов. Технические преимущества, которые может получить производство при внедрении предлагаемых решений, следует обосновать с экономической стороны, рассчитав изменение показателей производства до и после внедрения, и на основании сравнительного анализа приняв решение о целесообразности внедрения предлагаемых результатов выпускной квалификационной работы.

Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению.

При повышении производительности происходит снижение коэффициента загрузки оборудования, который включен в формулы для вычисления большинства основных экономических показателей производства.

Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Данные для расчета экономических показателей производства

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	м ²	40	40
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

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

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

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [12] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_Э = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_Э= 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [12] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,21$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,874$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_{\text{э}}$ и штучного времени $t_{шт}$ как

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,21 = 1700$. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/0,847 = 2425$. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 1000$ исправляемых дефектов за один год.

Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$, годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [12]:

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

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 1,21 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,57$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 0,847 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет $n=1$. Коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{з}}$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологического процесса:

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

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_{\text{з}} = 0,57/1 = 0,57$ и $K_{\text{з}} = 0,4/1 = 0,4$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [12]:

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

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = (80 \cdot 0,0252 + 130 \cdot 0,414 + 3000 \cdot 0,000495) \cdot 1,05 = 60$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить значение $M_{\text{баз.}} = (80 \cdot 0,0216 + 130 \cdot 0,342 + 3000 \cdot 0,000468) \cdot 1,05 = 50$ руб.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=300$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 1,21 \cdot 1,88 = 682$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 300 \cdot 0,847 \cdot 1,88 = 478$ руб.» [12]

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}}=682 \cdot 0,12=82$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 478 \cdot 0,12 = 57$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину ФЗП = 682 + 82 = 764 руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину ФЗП = 478+ 57 = 535 руб.

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

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого производства» [12] из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}}=0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

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

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 764 \cdot 0,34 = 260$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 535 \cdot 0,34 = 182$ руб.

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

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

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

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 300000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 2054 / 100 = 38$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,847 / 2054 / 100 = 71$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

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

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 10 \cdot 1,21 \cdot 4,7 / 0,85 = 67$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 10 \cdot 0,847 \cdot 4,7 / 0,85 = 47$ руб.» [12]

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{эз}$:

$$З_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об} = 38 + 67 = 105$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об} = 71 + 47 = 118$ руб.

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

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

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{тех}} = 60 + 764 + 260 + 105 + 40 = 1229$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{тех}} = 50 + 535 + 182 + 118 + 29 = 914$ руб..

Диаграмма на рисунке 20 позволяет оценить структуру технологической себестоимости по рассматриваемым вариантам базовой технологии и проектной технологии. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование» [12], что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

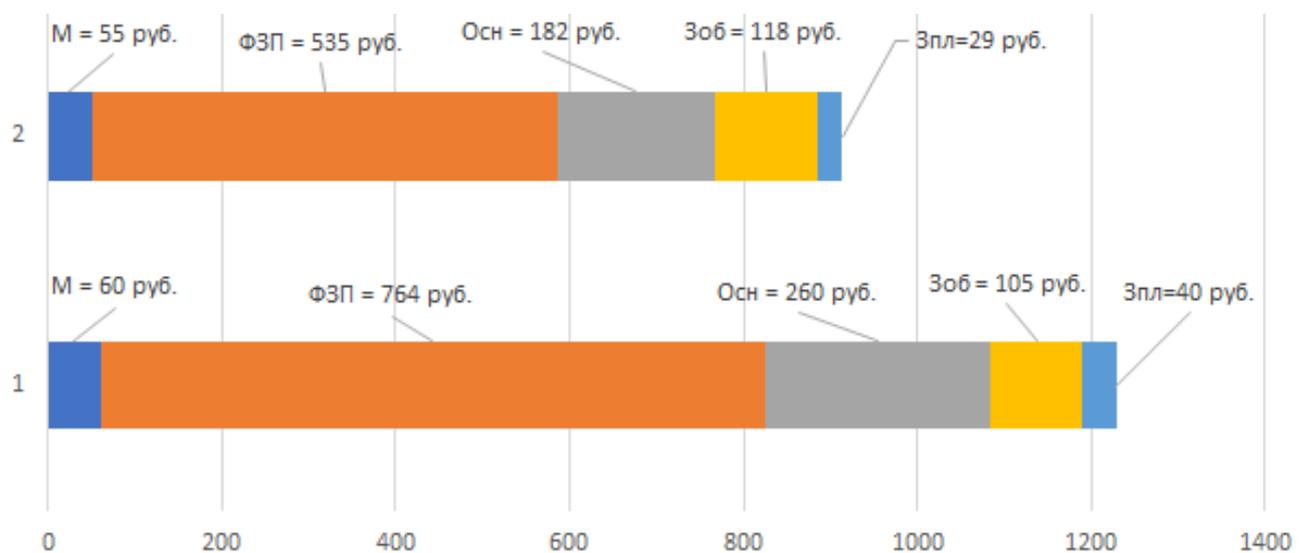


Рисунок 20 – Структура технологической себестоимости

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент цеховых расходов

$K_{\text{цех}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{\text{цех}}=1,5$. Расчёт величины $C_{\text{цех}}$:

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{цех}} = 1229 + 1,5 \cdot 682 = 1229 + 1023 = 2252$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{цех}} = 914 + 1,5 \cdot 478 = 914 + 717 = 1631$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{\text{зав}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{\text{зав}}=1,15$. Расчёт величины $C_{\text{зав}}$:

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 2252 + 1,15 \cdot 682 = 2252 + 784 = 3036$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 1631 + 1,15 \cdot 478 = 1631 + 550 = 2181$ руб.

В таблице 9 представлена калькуляция заводской себестоимости по рассчитанным ранее составляющим» [12].

Таблица 9 – Калькуляция 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	Осн	260	182
4. Затраты на оборудование	Зоб	105	118
5. Затраты на площади	Зпл	40	29
6. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	1229	914
7. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	1023	717
8. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	2252	1631
9. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	784	550
10. Заводская себестоимость» [12]	$C_{\text{зав}}$	3036	2181

Для анализа которых на рисунке 21 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса.



Рисунок 21 – Состав заводской себестоимости

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

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.} = 300$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 106500$ руб.

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

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 106500 \cdot 0,57 = 60705 \text{ рублей.} \quad (19)$$

Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов K_{tz} и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,4$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=800$ тыс. рублей, $K_{tz}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{zп} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,40 = 336000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=300$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $\text{Ц}_{\text{об.пр.}}=800$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = \text{Ц}_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 15000 + 40000 = 65000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 336000 + 65000 = 401000 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 401000 - 60705 = 340295 \text{ рублей.} \quad (25)$$

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

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

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 60705/1000 = 60,7$ руб./ед. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 401000 / 1000 = 401$ руб./ед» [12].

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (1,21 - 0,847) \cdot 100 \% / 1,21 = 30 \% \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 30 / (100 - 30) = 43 \% \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (1229 - 914) \cdot 100\% / 1229 = 26 \% \quad (29)$$

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

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (3036 - 2181) \cdot 1000 = 855000 \text{ рублей.} \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 340295 / 855000 = 0,3 \text{ года.} \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 855000 - 0,33 \cdot 340295 = 742702 \text{ рублей.} \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки при исправлении дефектов литья заготовок из алюминиевых сплавов.

На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства.

Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ.

Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 30 %, повысить производительность процесса на 43 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 26 %. При капитальных вложениях 340 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 742,7 тыс. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие изготовление и ремонт конструкций из алюминиевых сплавов.

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

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки при исправлении дефектов литых заготовок из алюминиевых сплавов. Базовая технология ремонта предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, недостатки которой сформулированы в ходе анализа базовой технологии при выполнении оценочного раздела выпускной квалификационной работы. На основании анализа источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических возможностей и повышения эффективности сварки деталей из алюминиевых сплавов для построения проектной технологии могут быть рекомендованы следующие способы сварки, эффективность которых доказана многочисленными исследованиями и внедрением на производстве при выполнении аналогичных задач: аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка сжатой дугой, сварка свободно горячей трехфазной дугой, сварка трехфазной сжатой дугой. Экспертная оценка рассматриваемых способов по технологическим критериям позволила заключить, что при реализации проектной технологии наибольшую эффективность покажет применение сварки трехфазной сжатой дугой, для которой на основании анализа достижений российских исследователей-сварщиков, предложена схема питания. Выполнение оценочного экологического раздела позволило заключить, что предлагаемые технологические решения могут быть реализованы в современном производстве, при этом возникающие негативные производственные и экологические факторы могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и методик. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алексахин А.В., Хмельницкая Н.В., Сиваева Е.К. Эффективность использования вторичных алюминиевых сплавов в литейном производстве // Экономические проблемы литейного производства России: Тез. докл. Всероссийской конф. Пенза, 1991. С. 52-54.
2. Белинин Д. С. Щицын Ю. Д. Перспективы применения плазменной дуги обратной полярности для исправления литейных дефектов из сплава АК7Ч // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2021. № 1. С. 74–81.
3. Белинин Д. С., Щицын Ю. Д., Никулин Р. Г. Перспективы применения плазменной дуги обратной полярности при исправлении литейных дефектов изделий из сплава АК7Ч // Вестник ПНИПУ. 2021. № 1. С. 74-81.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Волочко А. Т., Садоха М. А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. Минск: Беларуская навука, 2011. 387 с.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Гуреева М. А., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Конструкционные материалы. 2009. № 11 С. 27–41.
8. Ельцов В. В., Карелин В. И., Кондрашова С. В. Комплект универсального оборудования для ремонтной сварки изделий из легких сплавов // Сварочное производство. 1984. № 9. С. 35–36.
9. Ельцов В. В. Объект исследований – трехфазная сварочная дуга // Сборник трудов к 40-летию кафедры ОТСП и 75-летию В.И. Столбова ; под ред. В. В. Масакова, В.П. Сидорова. Тольятти : ТГУ, 2007, С. 105-116.
10. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2012. 176 с.

11. Зайцев О. И. Оглодков М. С., Щетинина Н. Д. Направления развития перспективных алюминий-литиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 1. С. 19–24.
12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Крушенко Г. Г. Двирный В. В., Решентинкова С. Н. Повышение плотности деталей летательных аппаратов, отливаемых из алюминиевых сплавов // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2016. № 1. С. 312-314.
14. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Новые механизмы подачи электродной проволоки // *Автоматическая сварка*. 1996. № 5. С. 39-44.
15. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // *Сварочное производство*. 2007. № 11. С. 26-30.
16. Лютова О. В. Свариваемость вторичных алюминиевых сплавов // *Литье и металлургия*. 2013. № 4. С. 45-50.
17. Митяев А. А., Беликов С. Б., Волчок И. П. Производство и применение алюминиевых сплавов в транспортном машиностроении // *Вестник двигателестроения*. 2006. № 1. С. 155-158.
18. Моторин К. В. Разработка многофункциональной установки для обработки алюминиевых сплавов трехфазной дугой в условиях монтажа и ремонта : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тольятти: ТолПИ. 2000.
19. Муханов В. Ф.: Федоров С. А. Типоразмерный ряд полувагонов производства концерна «Тракторные заводы» // *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2009. №1. С. 16–19.
20. Оботуров В. И., Толкачев Ю. Н. Некоторые особенности образования и разрушения оксидных плен при аргоно-дуговой сварке алюминиевых сплавов // *Сварочное производство*. 1973. № 11. С. 22–24.

21. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

22. Патент № 2378095 РФ, МПК В23К35/28 Присадочная проволока для сварки алюминиевых сплавов / Л. Коттиньи, С. Ж. Клодин, Ф. Жарри. Опубл. 10.01.2010, Бюл. № 1. 4 с.

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. Редчиц А.В., Овчинников В.В. Повышение энергетической эффективности плазменной сварки // Сварочное производство. 2004. № 8. С. 21–23.

25. Садоха М. А., Андрушевич А. А. Применение литых деталей в машиностроении // Литье и металлургия. 2022. № 2. С. 18-22.

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

27. Сушков В. Н., Скачков Ю. Н., Новиков О. М. Склонность лёгких сплавов к образованию оксидных включений при сварке // Сварочное производство. 1975. 5. С. 23–24.

28. Чечуха В. И., Садоха М. А. Дефекты в отливках при литье под давлением и меры по предотвращению их образования // Литье и металлургия. 2024. № 1 . С. 26-31.

29. Ширяева Н. В., Овчинников В. В., Габидуллин Р. М. Образование пор при сварке сплава системы алюминий-магний-литий // Автоматическая сварка. 1987. № 3. С. 16–18.

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

31. Ambriz, R.R., Mesmacque, G., Ruiz, A. Fatigue crack growth under a constant amplitude loading of Al-6061-T6 welds obtained by modified indirect

electric arc technique // Science and Technology of Welding and Joining. 2010. No. 6, P. 514-521.

32. Lin, D.C., Wang, G.X., Srivatsan T.S. A mechanism for the formation of equiaxed grains in welds of aluminum-lithium alloy 2090 // Materials Science and Engineering. 2003. No 7. P. 304-309.

33. Noga P., Richert M., Węglowski M.S. The influence of welding method on microstructure and mechanical properties of aluminum alloys joints // Metallurgy and Foundry Engineering. 2019; No 2. P. 43–50.

34. Shitsyn Y.D., Belinin D.S., Neulybin S.D. Plasma surfacing of high-alloy steel 10Cr18Ni8Ti on low-alloy steel 09Mg2Si // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. No. 10. P. 403–409.

35. Shcitsin Y.D., Shcitsin V.Y., Herold H. Plasma welding of aluminium alloys // Welding International. 2003. No. 17. P. 825–832.