

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 исправления дефектов алюминиевого литья

Обучающийся

Л.В. Сокурнко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.т.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Одним из высокоэффективных процессов получения заготовок из алюминия является литье, которое позволяет обеспечить высокую производительность и низкую себестоимость получения деталей в массовом производстве. Однако при литье заготовок из алюминиевых сплавов наблюдается образование значительного количества дефектов, которые необходимо исправлять. Приблизительно 10 % всех отливок имеют те или иные дефекты, которые требуют проведения дополнительных мероприятий по их исправлению.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при ремонте отливок из алюминиевых сплавов.

Применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом, которое предусмотрено в базовой технологии, характеризуется низкой производительностью и высокой трудоемкостью работ. Кроме того, качество ремонтной сварки в значительной степени зависит от квалификации сварщика, после выполнения сварки в месте проведенного ремонта обнаруживаются дефекты, который заставляют выполнять вырубку дефектного места и повторную его заварку.

При решении поставленных задач обоснован выбор способа ремонтной сварки, предложены решения по его улучшению и составлена проектная технология исправления дефектов алюминиевого литья.

Идентифицированы опасные и вредные производственные факторы производства, предложены мера защиты от них. На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет около одного миллиона рублей. Результаты работы предлагаются к внедрению на ремонтных предприятиях Российской Федерации.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние технологий исправления дефектов алюминиевого литья.	7
1.1 Постановка проблемы.	7
1.2 Анализ свойств материала заготовок.	10
1.3 Описание операция базового процесса исправления дефектов на отливках из алюминиевых сплавов.	12
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов.	15
1.5 Формулировка задача выпускной квалификационной работы	18
2 Проектная технология исправления дефектов алюминиевого литья. . . .	19
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки.	19
2.2 Повышение эффективности сварки трехфазной дугой.	24
2.3 Описание операций проектного технологического процесса.	28
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. .	30
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. .	30
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	31
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	32
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	34
3.5 Экологическая безопасность.	36
4 Экономическое обоснование проектных решений.	38
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	38
4.2 Фонд времени оборудования.	40
4.3 Штучное время и годовая программа.	41
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	43
4.5 Расчёт капитальных затрат.	48

4.6 Расчёт экономических показателей.	51
Заключение	53
Список используемой литературы и используемых источников.	55

Введение

Уникальное сочетание свойств обеспечивает неуклонный рост применения алюминиевых сплавов в изготовлении деталей машин. Прежде всего, необходимо отметить высокую коррозионную стойкость, которая позволяет увеличить ресурс работы агрегатов. Также значительную роль с применением алюминиевых сплавов играет их малая плотность, которая в сочетании с высокой прочностью, не уступающей прочности конструкционных сталей, позволяет получать конструкции со сниженной массой и повышенными характеристиками.

В настоящее время в мировую повестку включены вопросы экономии защиты окружающей среды, которой должны следовать все крупные промышленные предприятия, поэтому при построении технологических процессов следует обеспечить снижение затрат материалов и электрической энергии. Кроме того, существенная роль в ресурсосбережении отводится технологии вторичного использования материалов, которую в должной мере позволяет обеспечить применение алюминиевых сплавов. Детали из алюминия могут быть подвержены переработке, в содержащийся в них алюминий использован вторично и третично без ухудшения свойств [5], [35], [37].

Одним из высокоэффективных процессов получения заготовок из алюминия является литье, которое позволяет обеспечить высокую производительность и низкую себестоимость получения деталей в массовом производстве. Однако при литье заготовок из алюминиевых сплавов наблюдается образование значительного количества дефектов, которые необходимо исправлять. Приблизительно 10 % всех отливок имеют те или иные дефекты, которые требуют проведения дополнительных мероприятий по их исправлению. К таким дефектам следует отнести трещины, рыхлоты, газовые поры и раковины, недоливы, спаи и зашлаковывание. Обнаружение

дефектов происходит как при выемке заготовки из формы, так и после обточки детали.

Исправление дефектов в заготовках из алюминиевых сплавов выполняется с применением дугой сварки, которая имеет ряд особенностей по сравнению со сваркой конструкционных сталей. Эти особенности появляются по причине трудностей, сопровождающих сварку алюминиевых сплавов [14], [15], [31].

При выполнении ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов прочность наплавленного металла оказывается меньше прочности основного металла на 30...40 % [6], [32].

Выполнение ремонтной сварки на отливках из алюминиевых сплавов ещё более усложняется по причине того, что в теле отливки присутствуют остаточные напряжения, которые отрицательно влияют на кристаллизующийся металл и существенно повышают опасность трещинообразования [32].

Трудности сварки деталей и заготовок из алюминиевых сплавов до настоящего времени не решены, и в данном направлении ведут свои исследования ряд научных школ. Мировым производителем сварочного оборудования выпускаются все новые образцы, которые выполняются с учётом предлагаемых решений в области повышения эффективности сварки алюминия. При выполнении выпускной квалификационной работы следует особое внимание уделить трудам отечественных исследователей-сварщиков, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от поставок высокотехнологичного оборудования и комплектующих к нему [16], [19], [23], [24].

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранного направления исследования и цели выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при ремонте отливок из алюминиевых сплавов.

1 Современное состояние технологий исправления дефектов алюминиевого литья

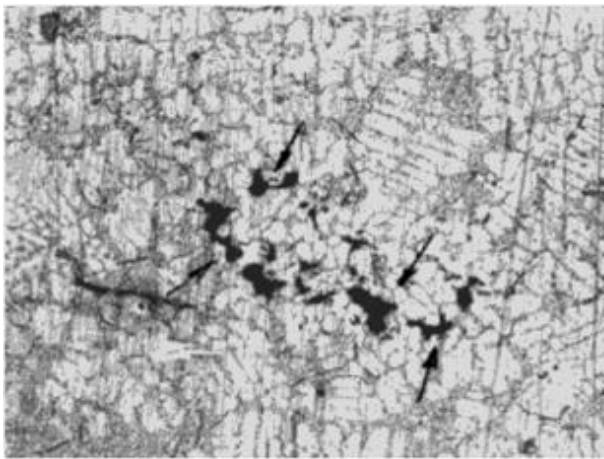
1.1 Постановка проблемы

В процессе литья заготовок из алюминиевых сплавов происходит образование значительного количества дефектов в виде поверхностных и сквозных недоливов, трещин, пор, газовых раковин, механических повреждений. На рисунке 1 представлены микрорыхлоты, которые часто возникают при изготовлении «отливок из алюминиевых сплавов и являются устранимыми дефектами. Образующиеся при литье микрорыхлоты приводят к нарушению герметичности изделия и выступают в роли очагов зарождения трещин, образование и развитие которых может происходить как в процессе механической обработки отливки» [8], так и в процессе эксплуатации уже готового изделия.

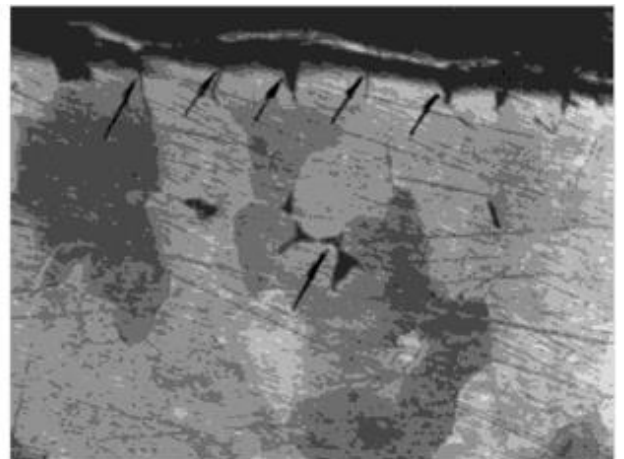
На рисунке 2 представлена пример трещины, которая развилась из микрорыхлот в процессе механической обработки литой заготовки. Помимо микрорыхлот и трещин в литых заготовках из алюминиевых сплавов встречаются окисные включения и пористость металла заготовки, пример которых представлен на рисунке 3.

Так как при литье в заготовках происходит образование растягивающих напряжений, кристаллизация металла происходит при высокой опасности получения горячих трещин, что особенно сильно проявляется в отливках сложной формы и в местах резкого изменения толщины металла. Как показывает практика литейного производства, на плоские участки отливок из алюминиевых сплавов приходится только 22 % литьевых дефектов [5], [7].

Построение технологии исправления литьевых дефектов с применением сварки затрудняется тем, что не все алюминиевые сплавы могут быть сварены с получением металла шва надлежащего качества.



а



б

Рисунок 1 – Образование микрорыхлот в отливках из сплава АЛ9

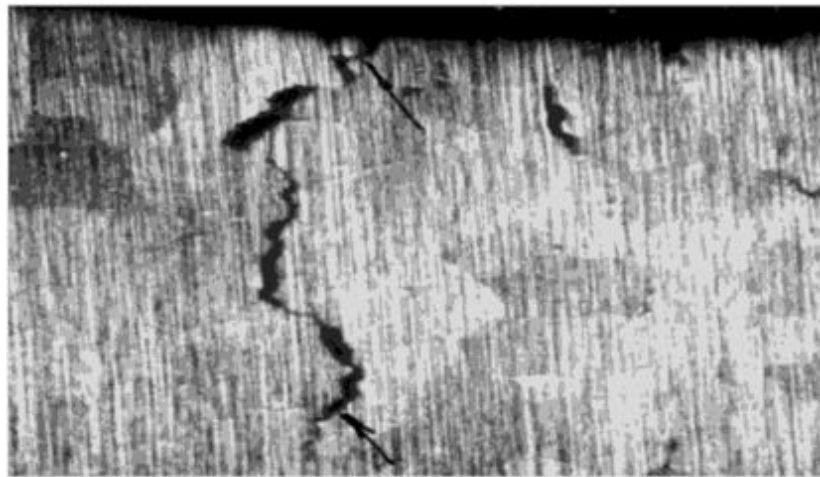
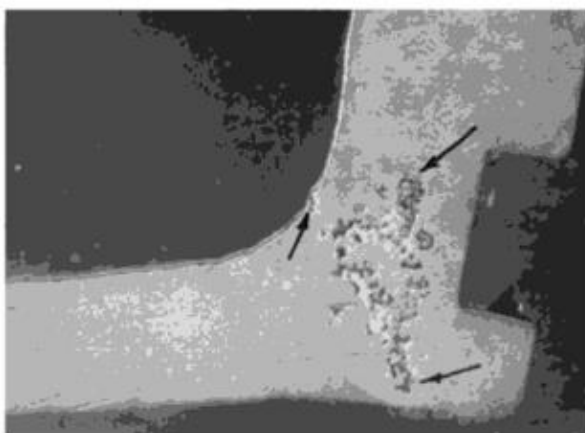
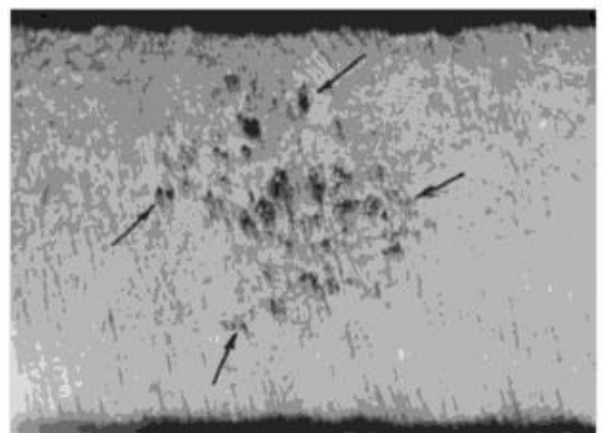


Рисунок 2 – Трещина, развившаяся из микрорыхлот в процессе механической обработки литой заготовки из сплава АЛ9



а



б

Рисунок 3 – Пористость (а) и окисные включения (б) в литых заготовках из сплава АЛ9

На рисунке 4 представлен корпус направляющего аппарата, который выполняется из сплавов АК7ч или АК9ч.



Рисунок 4 – Отливка направляющего аппарата (а) и дефекты литья (б)

По конструкции данная деталь является достаточно сложной с точки зрения обеспечения качества литья, так как имеет значительное количество переходов со значительным соотношением толщин. Дефекты литья при изготовлении такой детали обнаруживаются на всех стадиях производства, от извлечения отливки до механической обработки. Для определения границ залегания дефектов применяется визуальный контроль, рентгеновский контроль и ультразвуковой контроль.

При помощи сварки проводят исправление обнаруженных дефектов литья на поверхностях, доступных для выполнения сварки. Применение технологии аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, получившей значительное распространение при исправлении дефектов литья заготовок из алюминиевых сплавов, характеризуется высокой трудоемкостью и малой производительностью процесса. Кроме того, швы после заварки дефектов имеют повторные дефекты в виде пористости и включений окисных плёнок, в результате чего приходится проводить повторную разделку и заварку дефектного места.

1.2 Анализ свойств материала заготовок

Рассматриваемые в настоящей выпускной квалификационной работе отливки выполняются из алюминиевого сплава АК9ч и АК7ч. Содержание химических элементов в этих сплавах представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сплавов АК7ч и АК9ч

Марка сплава	Si	Mn	Fe	Cu	Pb	Mg	Be	Zn	Sn
АК7ч	6...8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,05	0,25...0,45	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,01
АК9ч	8...10,5	0,2...0,5	≤ 1	≤ 0,3	≤ 0,05	0,17...0,3	-	≤ 0,3	≤ 0,01

В качестве основного легирующего элемента в таких сплавах выступает кремний, который повышает текучесть металла при литье, что упрощает заполнение формы и образование сложных переходов в отливках. Также принимается во внимание способность кремния уменьшать литейную усадку металла, что позволяет успешно бороться с несплошностями, которые могут возникать в ходе изготовления массивных отливок из алюминиевых сплавов. При выполнении ремонтной сварки отливок в ходе исправления дефектов наличие кремния упрощает процесс сварки и положительно сказывается на свариваемости сплава. При выборе системы легирования сплава необходимо принимать во внимание, что повышение содержания в сплавке кремния снижает его стойкость по отношению к коррозии.

Введение в сплав меди повышает его пластичность, но отрицательно сказывается на стойкости по отношению к коррозии. Введение в сплав цинка и магния позволяет увеличить его прочность, но необходимо принимать во внимание снижение коррозионной стойкости сплава в щелочной среде. Введение в сплав железа также повышает его прочность.

Сварка алюминиевых сплавов при изготовлении и исправлении дефектов встречает ряд трудностей, которые до настоящего момента полностью не устранены и ограничивают применение сплавов в изготовлении деталей машин.

Первой трудностью следует указать свойства окисной пленки, которая присутствует на поверхности деталей. Положительная роль окисной пленки проявляется в существенном повышении коррозионной стойкости алюминиевых сплавов и улучшения их внешнего вида, однако пленка сильно затрудняет процесс сварки. Во-первых, «температура плавления окисной пленки существенно выше температуры плавления основного металла, в результате чего пленка присутствует в сварочной ванне в виде нерастворенных частиц. Во-вторых, плотность окисной пленки выше плотности расплавленного металла, в результате чего частицы окисной пленки тонут в сварочной ванне и загрязняют сварной шов» [8].

Второй трудностью является резкий переход алюминиевых сплавов из твердого состояния в расплавленное, который не сопровождается изменением цвета металла. В результате этого существует опасность выливания сварочной ванны или провал сварочной ванны.

Третьей трудностью сварки является «высокое значение коэффициента линейного расширения и кристаллизационной усадки, в результате чего сварка конструкций из алюминиевых сплавов сопровождается образованием высокого уровня остаточных напряжений и деформаций. Также в результате этого при сварке возможно образование усадочных раковин» [28].

«Четвёртой трудностью является способность жидкого алюминия растворять в себе значительное количество газов, которые не успевают полностью выделиться при кристаллизации, что становится причиной образования повышенной пористости металла сварного шва» [28].

Пятой трудностью является высокая вероятность образования горячих трещин, что объясняется сочетанием ранее описанных особенностей формирования соединения при сварке алюминиевых сплавов и структурой наплавленного металла, который представляет собой столбчатую структуру с выделяющейся по границам зерен эвтектикой. При сварке отливок опасность получения трещин повышается, так как на кристаллизирующийся металл оказывают влияние объемные напряжения, сформировавшиеся при литье.

1.3 Описание операция базового процесса исправления дефектов на отливках из алюминиевых сплавов

Предварительно перед выполнением разделки и сварки следует провести обмер заготовки и внешне её осмотреть. Выявление дефектов проводят невооруженным глазом и с применением измерительного инструмента. Далее проводят маркировку деталей с применением цветного маркера. Годные отливки, которые не имеют дефектов, помечают зеленым цветом и отправляют в производство. Если на отливке обнаружен дефект, который может быть исправлен с применением имеющихся на предприятии технологических средств, такую отливку помечают желтым цветом и отправляют на участок ремонта. В случае, если на отливке обнаружены дефекты, исправление которых с применением имеющихся на предприятии технологических средств невозможно или нерационально, такую отливку помечают красным цветом и отправляют на утилизацию.

Участок, на котором проводится ремонтная сварка, представлен на рисунке 5 и имеет местную вытяжку, рабочий стол и источник питания УДГУ-315.



Рисунок 5 – Пост для исправления дефектов алюминиевого литья с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

При выборке дефектного места проводят удаление металла с дефектами до здорового металла плюс 3 мм. Если разделяется трещина, то разделку следует проводить за 3...5 мм в обе стороны от видимого конца трещины с предварительным засверливанием сверлом диаметром 5...8 мм.

Дефектное место следует обработать нагретым до температуры 60...70 °С раствором щелочи NaOH, что позволяет стравить с поверхности детали окисную пленку, на процесс стравливания пленки уходит 2...3 минуты, после чего поверхность детали смывают водой, удаляя продукты реакции. После промывки следует просушить поверхность, обдувая её сжатым воздухом.

Дефектное место перед сваркой зачищают металлической щеткой с щетиной из нержавеющей проволоки с диаметром ворса не превышающим 0,15 мм. Сошлифовывание поверхности не выполняют, так как шлифовальный круг быстро забивается поверхностными загрязнениями и окисной пленкой, что становится причиной пористости.

После того, как зачистка дефектного места была проведена, выполняют его протирку с применением сухой ветоши, после чего работы по исправлению дефекта допускается выполнять не позднее 6 часов. При превышении времени выдержки необходимо повторить очистку поверхности детали перед сваркой.

Ремонтную сварку выполняют с применением установки УДГУ-351, которая представлена на рисунке 6-а. Сварку выполняют в среде чистого аргона, поставка которого на участок выполняется баллонами серого цвета, представленными на рисунке 6-б. «В качестве присадочной проволоки применяют порезанную на прутки проволоку СВАК5 диаметром 3 и 4 мм. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от принимаемых параметров режима сварки, которые представлены» [8] в таблице 2. Сварку ведут неплавящимся электродом из лантанированного вольфрама диаметром 2 или 3 мм. Диаметр вольфрамового электрода выбирается исходя из параметров режима, которые представлены в таблице 2.



Рисунок 6. Источник питания УДГУ-351 (а), баллон с аргонem (б), присадочный пруток СвАК5 (в)

Таблица 2 – Параметры режима сварки при исправлении дефектов алюминиевого литья

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

После того, как было выполнена заварка дефектного места, следует провести очистку поверхности сварного шва и прилегающий металл от брызг. Ширина участка, на котором выполняется очистка, составляет 20 мм во все стороны от сварного шва. Далее выполняют визуальный контроль состояния сварного шва, о качестве сварного соединения можно судить по равномерной чешуйчатости и геометрии сварного шва, отсутствию перепадов цветов побежалости на металле [30], [32], [34]. Визуальный контроль проводят невооруженным глазом и с применением увеличительной лупы 4...10 крат. Размеры шва и обнаруженных дефектов оценивают с применением универсального шаблона сварщика. Выявление внутренних дефектов проводят с применением ультразвукового дефектоскопа УД2-102.

Базовая технология характеризуется высокой трудоемкостью, малой производительностью и необходимостью повторной вырубки и заварки дефектов.

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

Для научного обоснования предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений и построения проектного технологического процесса с учётом современных достижений отечественной сварочной науки выполнен поиск научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов. Поиск проводился в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

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

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

В первой работе [34] установлено, что при ремонтной сварке дефектов алюминиевых отливок из сплава АК7ч плазменная сварка показала высокую эффективность. При этом наиболее высокими технологическими свойствами обладает сварка на обратной полярности, которая позволяет обеспечить равнопрочность основного и наплавленного металла как при сварке с подготовкой поверхности, так и при сварке по неподготовленной поверхности отливки. В обоих случаях обеспечивается дендритное строение металла, идентичное структуре основного металла отливки. Применение

режимов сварки с повышенным током позволяет снизить образование газовых пор по границе сплавления. Следует отметить, что допустимый уровень дефектности получается как при применении режимов с малым током, так и при применении режимов с повышенными значениями сварочного тока. Повышение погонной энергии сварки позволяет получить соединения с более равномерным переходом от наплавленного металла к основному металлу, кроме того, структура наплавленного металла в этом случае характеризуется меньшей дисперсностью.

Данную работу предлагается использовать для обоснования актуальности выбранного направления исследований, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии ремонтной сварки.

Во второй работе [22] на основании проведенных исследований сделан вывод о высокой эффективности применения механизмов импульсной подачи сварочной проволоки при сварке деталей из алюминиевых сплавов. При этом отмечается существенное расширение технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах, заключающиеся в улучшении внешнего вида соединения и формирования сварочного шва. Также применение импульсной подачи сварочной проволоки позволяет существенно уменьшить потери проволоки на угар и разбрызгивание, а также повысить эффективное КПД сварки.

Данную работу предлагается использовать для обоснования актуальности выбранного направления исследований, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии ремонтной сварки.

В третьей работе [3] на основании проведенных исследований можно сделать заключение о высокой эффективности применения комбинированной сварки при выполнении соединений в деталях из алюминиевых сплавов. Сварное соединение характеризуется бездефектностью, что позволяет рекомендовать процесс комбинированной сварки для изготовления ответственных деталей техники.

Данную работу предлагается использовать для обоснования актуальности выбранного направления исследований, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии ремонтной сварки.

В четвёртой работе [36] проведено исследование влияния параметров плазменной сварки алюминиевых сплавов на обратной полярности и возможности эффективного управления процессом. Установлено, что тепловложение в анод плазматрона может быть использовано для измерения падения напряжения на дуге. Также установлено, что величина анодного напряжения практически не зависит от материала, из которого этот анод изготовлен. На основании результатов эксперимента составлена таблица падений напряжения на анодном участке дуги при силе сварочного тока в диапазоне 50...300 А.

Данную работу предлагается использовать для обоснования актуальности выбранного направления исследований, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии ремонтной сварки.

В пятой работе [27] показано, что при сварке деталей из алюминиевых сплавов, содержащих литий, необходимо применять асимметричный ток, в котором преобладают по длительности импульсы обратной полярности, что позволяет повысить интенсивность процесса очистки от окисной плёнки. Кроме того, на снижение содержания в сварном шве окислов положительное влияние оказывает подогрев сварочной проволоки перед её поступлением в сварочную ванну.

Данную работу предлагается использовать для обоснования актуальности выбранного направления исследований, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии ремонтной сварки.

Таким образом, для выполнения ремонтной сварки алюминиевого литья необходимо далее рассмотреть технологии ручной дуговой сварки, механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, плазменной сварки и сварки трехфазной дугой [8], [10].

1.5 Формулировка задача выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при исправлении дефектов литья из алюминиевых сплавов. Применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом, которое предусмотрено в базовой технологии, характеризуется низкой производительностью и высокой трудоемкостью работ. Кроме того, качество ремонтной сварки в значительной степени зависит от квалификации сварщика, после выполнения сварки в месте проведенного ремонта обнаруживаются дефекты, который заставляют выполнять вырубку дефектного места и повторную его заварку.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное выполнение технологических задач, чему посвящен второй раздел настоящей выпускной квалификационной работы.

В ходе решения первой задачи предстоит выполнить анализ преимуществ и недостатков возможных способов ремонтной сварки, применение которых может оказаться эффективным при исправлении дефектов алюминиевого литья. На основании экспертной оценки рассмотренных способов следует обосновать выбор способа сварки для построения проектной технологии.

В ходе решения второй задачи предстоит повысить эффективность выбранного способа сварки с применением современных достижений отечественных исследователей-сварщиков [19], [24].

В ходе решения третьей задачи предстоит составить перечень технологических операций по выполнению ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов, назначить параметры режима и оборудование.

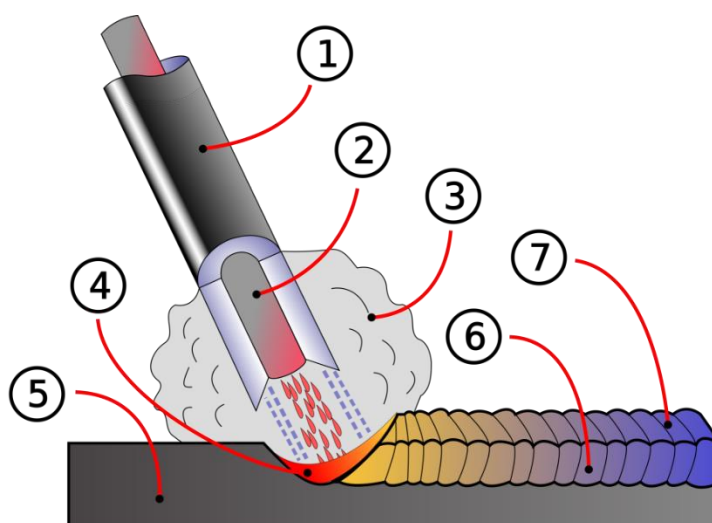
В ход выполнения оценочного раздела предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных факторов, предложить меры защиты от них [2], [4]. Также предстоит сравнить экономические показатели проектного и базового процессов [20], [21].

2 Проектная технология исправления дефектов алюминиевого литья

2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки

«При исправлении дефектов на отливках из алюминиевых сплавов могут быть применены различные способы сварки, из которых наиболее эффективными являются: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, плазменная сварка и сварка трехфазной дугой» [8], [10], [23], [24].

На рисунке 7 представлена схема выполнения ручной дуговой сварки с применением штучных электродов. «Сварка алюминиевых сплавов ведётся в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности» [8]. Диаметр сварочного электрода равен 4 мм или больше, применение электродов меньшего диаметра затруднительно по причине быстрого сгорания электрода [11], [28]. При сварке следует поддерживать минимальную длину дуги и наклон электрода $60...80^\circ$. Сварку ведут с предварительным подогревом до $150...200^\circ\text{C}$.

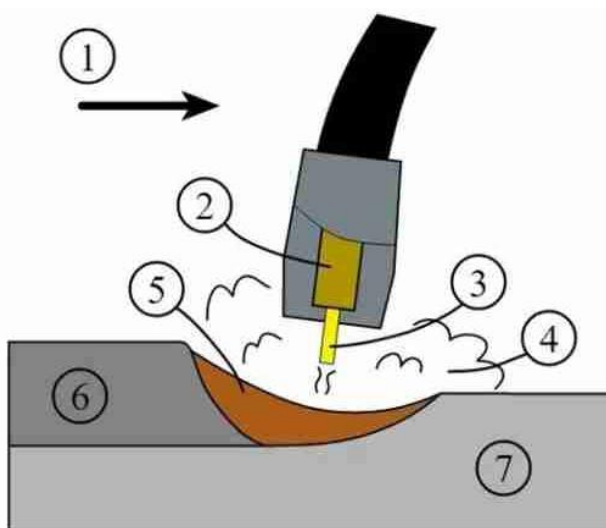


1 – покрытие электрода, 2 – стержень электрода, 3 – газовая защита, 4 – сварочная ванна, 5 – основной металл, 6 – наплавленный металл, 7 – шлак

Рисунок 7 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Применение ручной дуговой сварки ограничивается только нижним положением, так как в других положениях не обеспечивается удержание сварочной ванны и её защита. Кроме того, качество сварного шва существенно зависит от квалификации сварщика и намного ниже, чем качество соединений, полученных при использовании других способов сварки. Ручная дуговая сварка характеризуется тяжелыми условиями труда и необходимостью исправления брака.

На рисунке 8 представлена «схема выполнения механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. При сварке деталей из алюминиевых сплавов» [29] эффективность этого способа проявляется именно при значительных толщинах деталей [29], [32], [34]. Так как проволока для сварки алюминиевых сплавов обладает большей мягкостью по сравнению с проволокой для сварки сталей, приходится усложнять конструкцию механизмов подачи, чтобы избежать заломов проволоки и её застревания. Следует принимать во внимание быстрое загрязнение сопла сварочной горелки при сварке алюминиевой проволоки, которое наступает через 8...10 часов работы при использовании медно-графитовых наконечников.



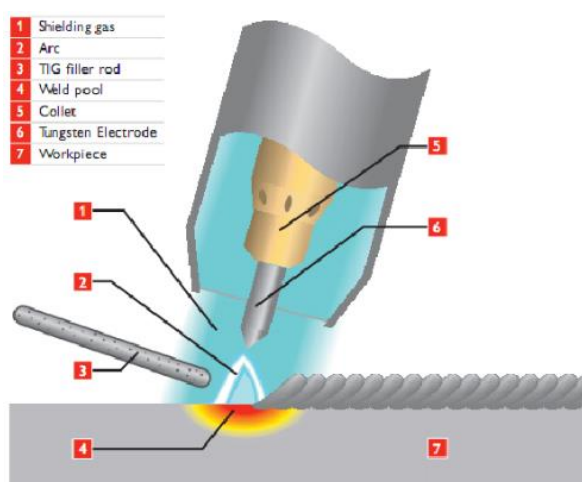
1 – направление сварки, 2 – контактный наконечник, 3 – электродная проволока, 4 – защитный газ, 5 – сварочная ванна, 6 – наплавленный металл, 7 – основной металл

Рисунок 8– Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

Механизированную сварку алюминиевых сплавов следует вести проволокой с диаметром не менее 2,5 мм, так как применение проволоки меньшего диаметра повышает пористость сварного шва.

Недостатками механизированной сварки алюминиевых сплавов является интенсивное разбрызгивание, загрязнение сопла горелки, низкая пространственная стабильность дуги, пористость металла шва. «В числе главного преимущества механизированной сварки следует указать высокую производительность, которая многократно превышает производительность сварки неплавящимся электродом» [29].

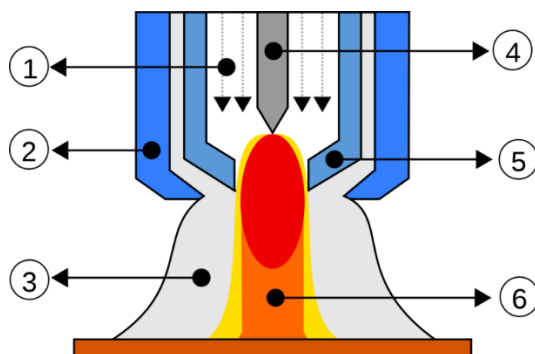
На рисунке 9 представлена схема аргодуговой сварки неплавящимся электродом, применение которой позволяет получать сварные соединения, по качеству превосходящие ручную дуговую сварку и механизированную сварку [8]. «Недостатками применения сварки неплавящимся электродом являются малая производительность, высокая стоимость сварочного оборудования, высокие требования к подготовке сварщика» [8], получение дефектов сварки в виде пористости и окисных включений, из-за которых приходится выполнять вырубку дефектного места и повторную заварку. Стабильность качества сварки может быть повышена при использовании в качестве защитного газа смеси «аргон + гелий», но повышает затраты.



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

Рисунок 9 – Схема выполнения сварки неплавящимся электродом

Плазменная сварка, схема применения которой представлена на рисунке 10, позволяет повысить производительность процесса и качество выполняемого соединения за счёт локализации выделения тепла и большей его интенсивности, что способствует ускоренному разрушению окисной пленки и снижает перегрев основного металла.



«1 – плазмообразующий газ, 2 – защитное сопло, 3 – защитный газ, 4 – непоплавляющийся электрод, 5 – плазмообразующее сопло, 6 – сжатая дуга» [1]

Рисунок 10 – Схема плазменной сварки

Сварка с применением сжатой дуги характеризуется устойчивым горением дуги, что позволяет вести работы в различном положении. Стабильность дуги является определяющим фактором при выполнении ремонтной сварки на отливках сложной формы. Недостатком плазменной сварки, который ограничивает применение этого способа, является сложность оборудования и малый опыт промышленного использования. Отечественный производитель сварочного оборудования не поставляет на рынок необходимых сварочных аппаратов, в настоящий момент имеется только оборудование иностранного производителя.

На рисунке 11 представлена схема сварки трехфазной дугой [9], [17], которая характеризуется высокой пространственной стабильностью и качеством сварного шва. Такой способ сварки предусматривает применение двух непоплавляющихся электродов и согласованное горение трех дуг. Между электродами горит независимая дуга, которая позволяет ионизировать промежуток и повышает стабильность процесса. Между двумя непоплавляющимися электродами и деталью поочередно горит ещё две дуги.

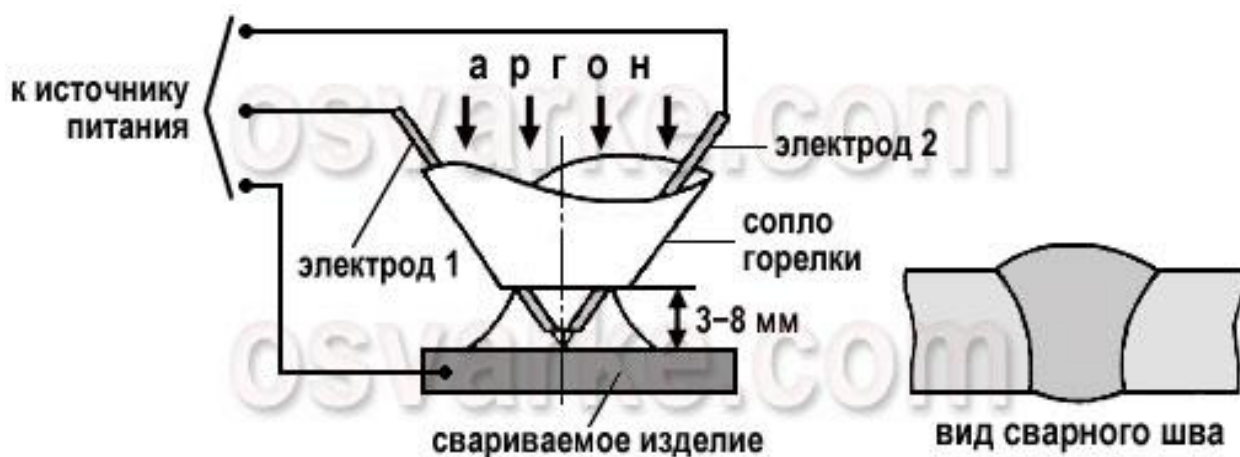


Рисунок 11 – Схема сварки трехфазной дугой

Повышенная стабильность процесса и возможность сварки во всех пространственных положениях выгодно отличает сварку трёхфазной дугой от других способов сварки. Недостатком способа является усложнение горелки, увеличение её габаритов и веса.

Оценку возможности применения рассмотренных способов для ремонтной сварки рассматриваемой в выпускной квалификационной работе детали выполним по технологическим критериям [25]. При оценке рассмотренных способов по производительности работ первые три места заняли такие способы: сварка трехфазной дугой, механизированная сварка в защитных газах и плазменная сварка. По качеству сварного шва первые три места заняли такие способы сварки: сварка трехфазной дугой, плазменная сварка, сварка неплавящимся электродом. По универсальности способа первые три места заняли такие способы сварки: ручная дуговая сварка, сварка трехфазной дугой, сварка неплавящимся электродом. По условиям труда сварщика первые три места заняли такие способы сварки: сварка неплавящимся электродом, сварка трехфазной дугой и механизированная сварка.

Таким образом, на основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки, применимых для исправления дефектов алюминиевого литья, для построения проектной технологии предлагается применить сварку трехфазной дугой.

2.2 Повышение эффективности сварки трехфазной дугой

На рисунке 12 представлена классическая схема выполнения сварки трехфазной дугой, предусматривающая подвод двух питающих фаз к держателям электродов, которые обозначены на схеме позициями 1 и 2. Третья питающая фаза подводится к изделию, которое обозначено на схеме позицией 4. Сварное соединение образуется при нагреве присадочного и основного металла тремя дугами. Первая дуга, обозначенная на схеме позицией 6, горит между двумя электродами, она является независимой по отношению к детали, её горение происходит по воздушному промежутку, но возможно и её «отдувание» до касания дугой свариваемой детали. Вторая и третья дуги, которые обозначены на схеме позициями 5 и 3, горят между электродами и деталью. Таким образом, в течение всего сварочного цикла происходит непрерывное горение нескольких дуг, что позволяет повысить коэффициент мощности сварочного оборудования и существенно уменьшить нагрузку на заводскую электрическую сеть.

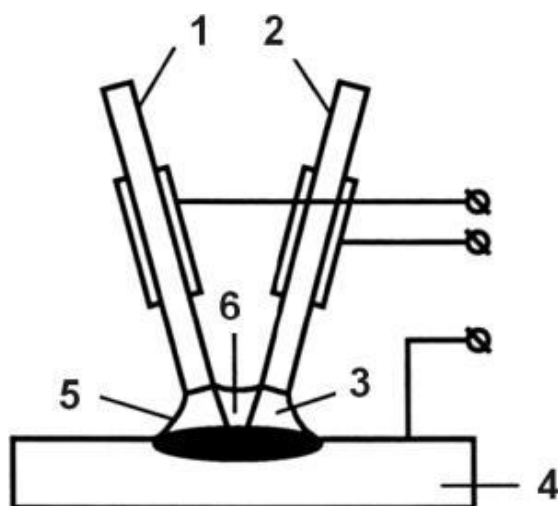


Рисунок 12 – Традиционная схема выполнения сварки трехфазной дугой

Помимо положительного влияния на величину коэффициента мощности следует указать на двух-трех кратное повышение производительности по сравнению с однофазной сваркой неплавящимся электродом. Применение двух источников питания, согласованная работа

которых обеспечивает питание трехфазной дуги, позволяет существенно повысить суммарную силу сварочного тока, которая может достигать 3000...4000 А. поочередное горение сварочных дуг приводит к переменному силовому воздействию на расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны, в результате чего происходит повышение интенсивности перемешивания металла, что ускоряет выделение из него растворенных газов и существенно уменьшает конечную пористость сварного шва. Совместное горение на изделие двух сварочных дуг приводит к снижению скорости охлаждения при кристаллизации сварочной ванны, что способствует повышению коррозионной стойкости сварного шва и его механических свойств.

Экономия электрической энергии при применении трехфазной дуги составляет от 5 до 40 %. Кроме того, сварка может быть выполнена при пониженном напряжении сети. Увеличение проплавляющей и очищающей способности трехфазной дуги по сравнению с однофазной позволяет уменьшить влияние качества подготовки дефектного места на качество сварного шва. Пространственная стабильность трехфазной дуги позволяет вести ремонтную сварку по сложной траектории в различных пространственных положениях.

На рисунке 13 представлена предлагаемая схема питания, которая может быть применена при выполнении ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов [13]. В отличие от классической схемы подключения фаз при трехфазной сварке, которая представлена на рисунке 12, третья питающая фаза подключается к присадочной проволоке, а не к изделию. Такая схема позволяет выполнить разделение теплового потока между присадочной проволокой и деталью, при котором активное пятно дуги в основном действует не на поверхность детали, а на присадочную проволоку, что усиливает протекание процессов катодной очистки на её поверхности и позволяет повысить качество наплавленного металла. Также устраняется опасность образования прожогов.

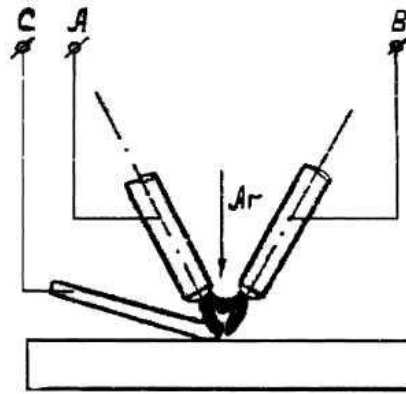


Рисунок 13 – Предлагаемая схема питания трехфазной дуги

На рисунке 14 представлена принципиальная схема питания трехфазной дуги [18], предусматривающая включение силовых тиристоров VD1-VD2 в цепь присадочной проволоки, что позволяет регулировать величину тока и интенсивность нагрева присадочной проволоки с блок управления БУ и ножного пульта управления НПУ. В качестве источника питания предлагается применить [12], [33] источник УДГТ-314, представленный на рисунке 15, разработка которого выполнена на кафедре сварки Тольяттинского государственного университета.

Управление работой источника сварочного тока осуществляется от ручного пульта управления РПУ, который позволяет дистанционно задавать величину сварочного тока и контролировать его значение. Применение ножного пульта управления НПУ позволяет высвободить руки сварщика при управлении зажиганием и гашением сварочной дуги.

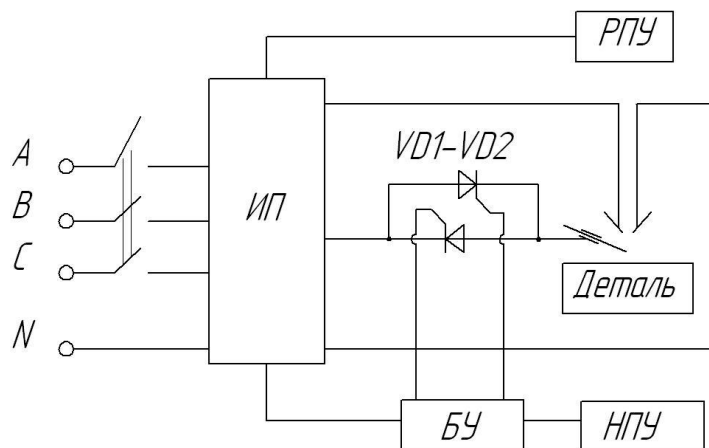


Рисунок 14 – Принципиальная схема питания трехфазной дуги



Рисунок 15 – Установка для сварки свободной трехфазной дугой УДГТ-314

Для повышения качества соединения при выполнении ремонтной сварки на отливках из алюминиевых сплавов предлагается в качестве присадочной проволоки применить разработку отечественных исследователей-сварщиков [26], применение которой позволяет уменьшить размер кристаллитов наплавленного металла. Состав проволоки представлен в таблице 3, в котором основными химическими элементами выступает алюминий, являющийся основой сплава, кремний в количестве 4,5...6 %, хром в количестве 0,8...1,2 % и цирконий в количестве 0,7...1,2 %. В качестве примесей допускается наличие в проволоке железа до 0,6 %, меди до 0,2 % и цинка с оловом, суммарное содержание которых в проволоке допускается до 0,1 %. При ремонтной сварке деталей из алюминиевых сплавов следует обеспечивать получение наплавленного металла с малым размером кристаллитов, что позволяет уменьшить опасность возникновения горячих трещин и повышает эксплуатационные свойства сварного шва. За счёт введения в проволоку циркония и хрома обеспечивается повышение коррозионной стойкости наплавленного металла по сравнению с традиционными проволоками. Наличие в проволоке циркония и хрома позволяет устранить отрицательное влияние кремния на коррозионную стойкость. Уменьшение размеров зерен кристаллитов обеспечивается за счёт содержащегося в проволоке циркония.

2.3 Описание операций проектного технологического процесса

При исправлении дефектов отливок из алюминиевых сплавов качество проведения работ и последующая эксплуатация детали с исправленными дефектами определяются правильностью и полнотой проведения подготовительных работ. Исправление дефектов на отливках следует начинать с очистки поверхности отливки и поверхности присадочной проволоки. Наличие на их поверхности окисных плёнок и других загрязнений становится причиной образования пор снижения прочности сварного шва. После удавления застарелой окисной пленки с поверхности деталей и проволоки, на поверхности образуется тонкая окисная пленка, которая в течение 8...16 часов после обработки сохраняет свою незначительную толщины и способна разрушаться в процессе сварки под действием сварочной дуги в ходе катодного распыления.

Дефектное место следует обработать нагретым о температуры 60...70 °С раствором щелочи NaOH, что позволяет стравить с поверхности детали окисную пленку, на процесс стравливания пленки уходит 2...3 минуты, после чего поверхность детали смывают водой, удаляя продукты реакции. После промывки следует просушить поверхность, обдувая её сжатым воздухом.

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

Дефектное место перед сваркой зачищают металлической щеткой с щетиной из нержавеющей проволоки с диаметром ворса не превышающим 0,15 мм. Сошлифовывание поверхности не выполняют, так как шлифовальный круг быстро забивается поверхностными загрязнениями и окисной пленкой, что становится причиной пористости.

После того, как зачистка дефектного места была проведена, выполняют его протирку с применением сухой ветоши, после чего работы по исправлению дефекта допускается выполнять не позднее 6 часов. При превышении времени выдержки необходимо повторить очистку поверхности детали перед сваркой.

Сварку проводят при величине тока 150...180 А, диаметр присадочной проволоки составляет 3 мм, диаметр неплавящегося электрода составляет 3 мм. Перемещение горелки ведут со скоростью 8...12 метров в час.

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

При внешнем осмотре выявляют видимые дефекты сварки – выходящие на поверхность трещины и поры, изменение цветов побежалости (что не является дефектом сварки, но свидетельствует о высокой вероятности дефекта в области изменения цвета), кратеры, вольфрамовые включения

Осмотр поверхности детали выполняют после очистки брызг на ширину 20 мм во все стороны от границы сварного шва. Визуальный контроль проводят невооруженным глазом и с применением увеличительной лупы 4...10 крат. Размеры шва и обнаруженных дефектов оценивают с применением универсального шаблона сварщика. Выявление внутренних дефектов проводят с применением ультразвукового дефектоскопа УД2-102.

Выводы по второму разделу

Поставленные задачи выпускной квалификационной работы следует признать решенными, обоснован выбор способа ремонтной сварки, предложены решения по его улучшению и составлена проектная технология исправления дефектов алюминиевого литья.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

Ранее в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы были решены задачи по обоснованию выбора способа ремонтной сварки и построению технологии ремонтной сварки при исправлении дефектов литых из алюминиевых сплавов. Для построения проектной технологии предлагается применить сварку трехфазной дугой неплавящимся электродом, разработке которой посвятили свои исследования сотрудники кафедры сварки тольяттинского государственного университета. При реализации технологических процессов на современном производстве необходимо обеспечить безопасность персонала, нейтрализовав опасные и вредные производственные факторы. Также следует предусмотреть мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производства и защите окружающей среды от антропогенных факторов, которые действуют на окружающую среду в результате реализации проектной технологии.

Анализ проектной технологии исправления дефекта на детали представлен в таблице 3. Укрупненно технологию можно разбить на девять операций, выполнение которых сопровождается возникновением опасных и вредных производственных факторов.

Из технологического оборудования, которое становится причиной возникновения негативных производственных факторов, следует выделить моечную машину, сверлильный станок, источник питания трехфазной дуги, сварочную горелку, оборудование проведения контроля качества. Кроме того, источником негативных производственных факторов становится сам процесс сварки с применением трехфазной дуги, которая становится источником интенсивного нагрева, вредных испарений, теплового и ультрафиолетового излучения.

Таблица 3 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование
1. Травление 2. Промывка 3. Сушка 4. Зачистка 5. Разделка	Слесарь-сборщик	1) машина моечная 2) щетка металлическая 3) компрессор 4) сверлильный станок
6. Обезжиривание 7. Заварка дефекта	Электросварщик	1) источник питания 2) сварочная горелка
8. Внешний осмотр 9. Ультразвуковой контроль	Дефектоскопист	1) лупа 2) дефектоскоп 3) штангенциркуль 4) твердомер 5) контрольный стол

На основании данных таблицы 3 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

В предыдущем разделе настоящей выпускной квалификационной работы составлен и описан процесс ремонтной сварки при исправлении дефектов литья деталей из алюминиевых сплавов. Реализация проектной технологии неизбежно вызовет образование профессиональных рисков, действие которых на персонал может стать причиной возникновения профессиональных заболеваний (под воздействием вредных факторов) или даже привести к травмам и смерти (под воздействием опасных факторов). Помимо применяемого сварочного оборудования источником профессиональных рисков при ремонтной сварке становится сама сварочная дуга и вредные испарения. В таблице 4 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса. Далее может быть выполнена адекватная оценка этих факторов и предложены меры защиты от них.

Таблица 4 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
1. Травление 2. Промывка 3. Сушка 4. Зачистка 5. Разделка	- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны
6. Обезжиривание 7. Заварка дефекта	– движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, – повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, – повышенная температура поверхностей оборудования, материалов, – инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации, – ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений
8. Внешний осмотр 9. Ультразвуковой контроль	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; – ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [4]

Представленные в таблице 4 «негативные производственные факторы, возникновение которых возможно в ходе реализации проектной технологии, представляют собой набор стандартных факторов, которые ранее возникали в производстве» [4] и успешно устранялись с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий. Перечень предлагаемых к проведению мероприятий и применяемых технических средств из арсенала предприятия будет представлен далее.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

На основании ранее проведенных работ по идентификации профессиональных рисков, возникновение которых происходит при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Устранение профессиональных рисков

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

Представленные в таблице 5 данные позволяют заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 5 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски. Дальнейшие работы над настоящим разделом следует продолжить в направлении обеспечения пожарной и экологической безопасности производства.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Сварочное производство помимо негативных производственных факторов, оказывающих на персонал предприятия вредное воздействие, характеризуется повышенной опасностью возникновения пожаров. В первую очередь, это объясняется высокой температурой сварочной дуги, разлетающихся при сварке искр и теплового излучения. Также следует принимать во внимание, что для выполнения сварочных работ применяется силовая аппаратура, предусматривающая питание от повышенного напряжения, что становится дополнительным фактором опасности, повышающим вероятность возникновения пожара и усложняющим его тушение. В таблице 6 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 6 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов
Наименование оборудования	«Оборудование для подготовки поверхности отливки под ремонтную сварку, разделки дефекта, сварочное оборудование и аппаратура контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода» [4]
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

По результатам оценки особенностей возможного пожара, «который может произойти на рассматриваемом технологическом участке, потенциально возможный пожар следует отнести к классу Е» [4], так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по

направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 7 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 7 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [4]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

При организации противопожарной защиты особое внимание следует уделить мероприятиям, снижающим опасность возникновения пожара. К таким мероприятиям следует отнести содержание в порядке рабочих мест, недопущение складирования на участке горючего мусора, тряпок, картона, пенопласта. Кроме того, следует проводить периодический инструктаж персонала по противопожарной дисциплине. В случае возгорания его следует локализовать и постараться потушить имеющимися средствами, обращению с которыми следует обучать персонал предприятия. Кроме того, для предотвращения жертв при пожаре следует проводить учения по тушению пожара и эвакуации персонала предприятия.

3.5 Экологическая безопасность

При построении технологических процессов на современном промышленном предприятии необходимо руководствоваться не только соображениями безопасности процессов для персонала, но и безопасности процессов для окружающей среды. Поскольку современное общество осознало ответственность человечества за сохранение природных ресурсов, в мировую повестку включены вопросы природосбережения. Разрабатываемые технологические процессы рассматриваются с точки зрения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и могут стать причиной экологической катастрофы вследствие кумулятивного эффекта. Предлагаемые мероприятия предполагают уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы.

Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 8. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 8 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [2]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [2]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [2]

Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы обеспечения безопасности персонала предприятия при реализации проектного технологического процесса ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов. Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, в результате действия которых на персонал предприятия возможно травмирование или приобретение профессиональных заболеваний. На основании анализа этих факторов представлены стандартные технические средства и организационные мероприятия, применение которых на производстве позволяет устранить действующих фактор или уменьшить его действие до приемлемого уровня. Представленные в работе средства являются стандартными из резерва современного предприятия, разработки специальных мер по обеспечению безопасности персонала не требуется.

«Так как сварочное производство характеризуется повышенной опасностью возникновения пожара, в настоящем разделе выполнена идентификация опасных факторов возможного пожара и предложены меры по обеспечению пожарной безопасности.

С учётом мировой экологической повестки были рассмотрены антропогенные факторы, возникновение которых возможно при реализации проектной технологии. Были предложены мероприятия по обеспечению экологической безопасности и повышению экологической грамотности работников и руководства предприятия.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется» [4].

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при исправлении дефектов литья из алюминиевых сплавов. Применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом, которое предусмотрено в базовой технологии, характеризуется низкой производительностью и высокой трудоемкостью работ. Кроме того, качество ремонтной сварки в значительной степени зависит от квалификации сварщика, после выполнения сварки в месте проведенного ремонта обнаруживаются дефекты, который заставляют выполнять вырубку дефектного места и повторную его заварку.

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

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 9. Применение предлагаемых решений позволяет повысить устранить перечисленные недостатки, повысить производительность и качество сварочных работ.

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

Таблица 9 – Исходные данные для экономического обоснования

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

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [20].

4.2 Фонд времени оборудования

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

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

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

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

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

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

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ » [21]. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$, для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени проводим по формуле:

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

Для базового варианта технологии штучное время, рассчитанное согласно (3) $t_{шт} = 1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,21$ часов. Для проектного варианта технологии штучное время, рассчитанное согласно (3), составляет $t_{шт} = 0,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,874$ часов.

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание «годовой программы P_g , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и эффективного фонда времени $F_э$, расчёт годовой программы выполняется по формуле» [21]

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

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

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

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

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

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

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

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

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

«Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{баз.} = (80 \cdot 0,0252 + 130 \cdot 0,414 + 3000 \cdot 0,000495) \cdot 1,05 = 60$ руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{баз.} = (80 \cdot 0,0216 + 130 \cdot 0,342 + 3000 \cdot 0,000468) \cdot 1,05 = 50$ руб» [21].

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

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 1,21$ часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы $Z_{осн} = 300 \cdot 1,21 \cdot 1,88 = 682$ рублей; для проектного

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

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

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

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

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

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн} = 0,34$, с учётом которого» [21]:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 764 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды

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

Амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5\%$: эффективного фонда времени F_3 , стоимости оборудования $C_{\text{об}}$, которое для базового варианта составляет $C_{\text{об}} = 300000$ рублей, для проектного варианта $C_{\text{об}} = 800000$ рублей; машинного времени $t_{\text{маш}}$, которое для базового варианта составляет $t_{\text{маш}} = 1,21$ часов, для проектного варианта $t_{\text{маш}} = 0,847$ часов.

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (11)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта $C_{тех} = 60 + 764 + 260 + 105 + 40 = 1229$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{тех} = 50 + 535 + 182 + 118 + 29 = 914$ рублей» [21]. На рисунке 16 представлена структура технологической себестоимости в проектном и базовом вариантах построения технологии.

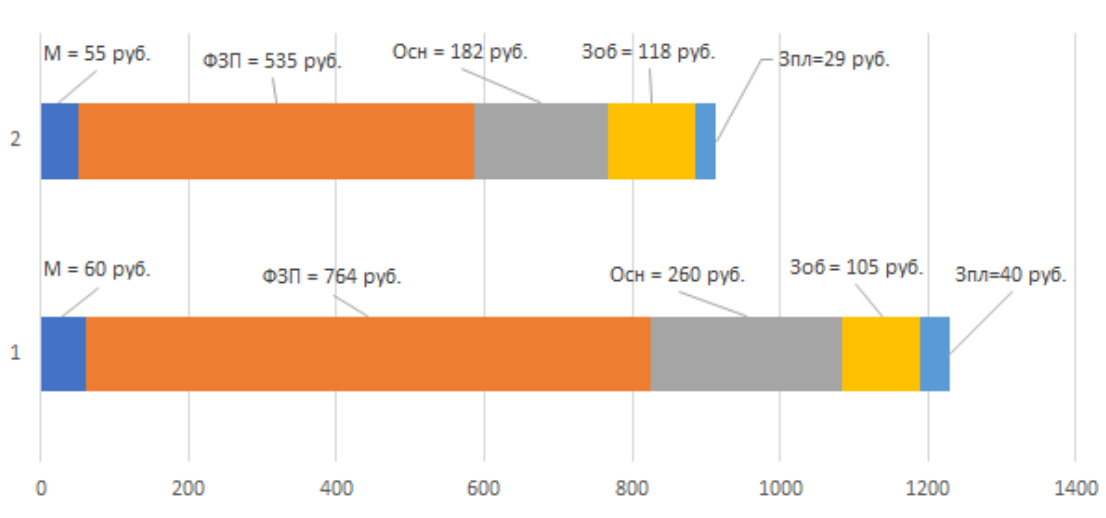


Рисунок 16 – Структура технологической себестоимости

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

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

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

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

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

Согласно (16) $C_{\text{зав}} = 2252 + 1,15 \cdot 682 = 2252 + 784 = 3036$ рублей для базовой технологии и $C_{\text{зав}} = 1631 + 1,15 \cdot 478 = 1631 + 550 = 2181$ рублей для проектной технологии» [21].

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 10, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 17.

Таблица 10 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	60	50
2. Фонд заработной платы	ФЗП	764	535
3. Отчисления на соц. нужды	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» [20]	$C_{\text{зав}}$	3036	2181

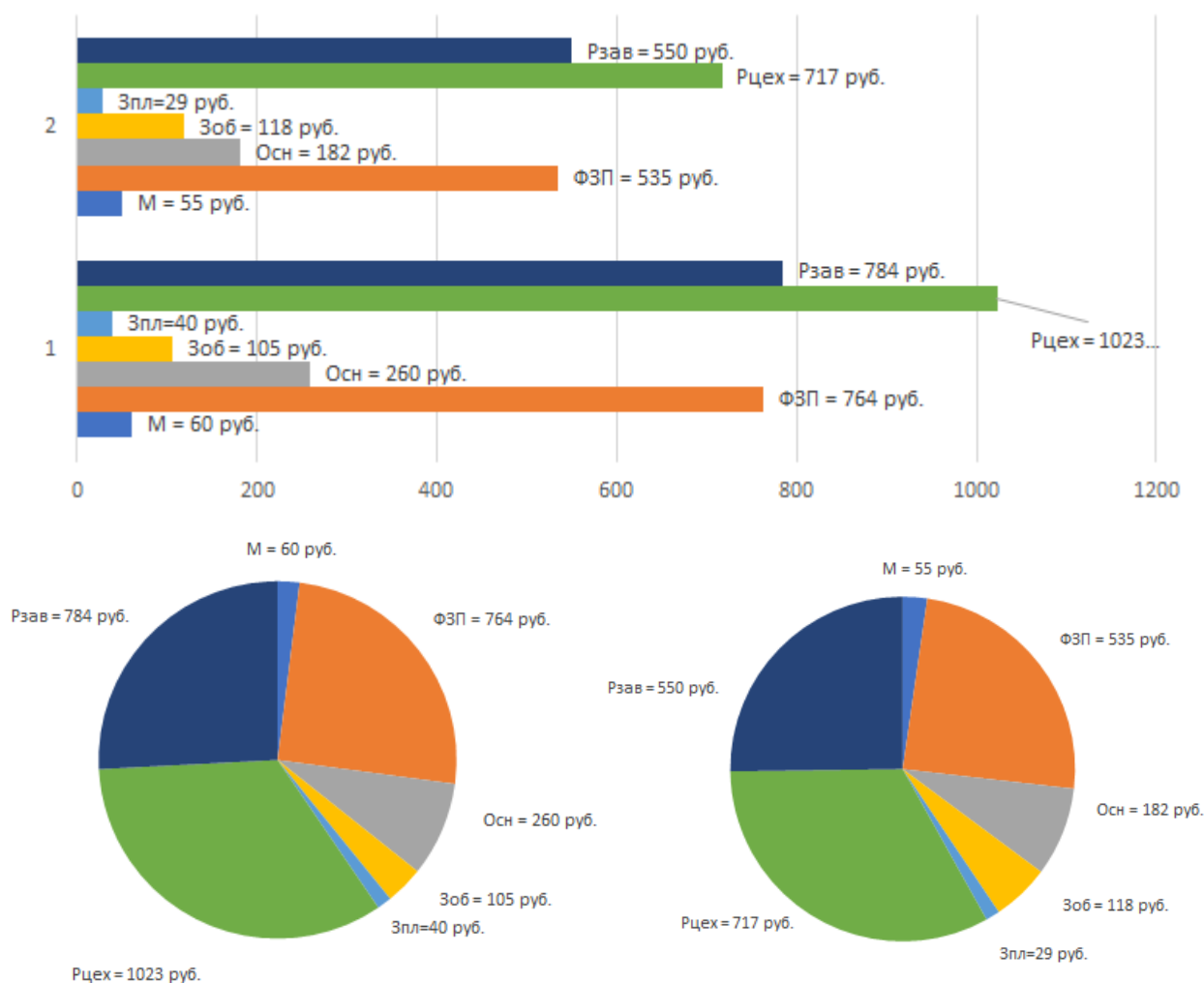


Рисунок 17 – Состав заводской себестоимости

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

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $C_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 3$ года, и цены нового оборудования на рынке $C_{перв}$, которая принимается $C_{перв} = 300000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных

отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, «остаточная стоимость оборудования составляет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп.}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования» [21], которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем.}$. Расчёты ведутся по формуле

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

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

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

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $C_{\text{об. пр.}}$ с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{\text{мон}} = 0,05$ » [21]:

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

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

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

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ пр}} - K_{\text{общ б}} = 401000 - 60705 = 340295 \text{ рублей.} \quad (24)$$

«Удельные капитальные вложения $K_{\text{уд}}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{\text{общ}}$ к годовой программе $\Pi_{\text{Г}}$ согласно формулы» [21]

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

«Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 60705/1000 = 60,7$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 401000 /1000 = 401$ руб./ед» [21].

4.6 Расчёт экономических показателей

«Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений» [21].

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

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

«Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда P_T , рассчитываемая как» [21]

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

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

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

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{ут}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и

проектному вариантам $C_{зав.б} = 3036$ рублей и $C_{тех.пр.} = 2181$ рублей Расчёты ведутся по формуле

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

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

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

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

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

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

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при исправлении дефектов литья из алюминиевых сплавов. Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при ремонте отливок из алюминиевых сплавов.

Применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом, которое предусмотрено в базовой технологии, характеризуется низкой производительностью и высокой трудоемкостью работ. Кроме того, качество ремонтной сварки в значительной степени зависит от квалификации сварщика, после выполнения сварки в месте проведенного ремонта обнаруживаются дефекты, который заставляют выполнять вырубку дефектного места и повторную его заварку.

Для научного обоснования предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений и построения проектного технологического процесса с учётом современных достижений отечественной сварочной науки выполнен поиск научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов. Поиск проводился в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберденинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для выполнения ремонтной сварки алюминиевого литья рассмотрены технологии ручной дуговой сварки, механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, аргодуговой сварки неплавящимся электродом, плазменной сварки и сварки трехфазной дугой.

На основании разработки аналитического раздела настоящей выпускной квалификационной работы сформулированы задачи для последующего решения.

В ходе решения первой задачи проведен анализ преимуществ и недостатков возможных способов ремонтной сварки, применение которых может оказаться эффективным при исправлении дефектов алюминиевого литья. На основании экспертной оценки рассмотренных способов обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии. Для построения проектной технологии ремонтной сварки предлагается применить сварку трехфазной дугой неплавящимся электродом. В ходе решения второй задачи повышена эффективность выбранного способа сварки с применением современных достижений отечественных исследователей-сварщиков, составляющих коллектив кафедры сварки Тольяттинского государственного университета. Для повышения эффективности ремонтной сварки предлагается присадочная проволока состава, который был разработан российскими исследователями-сварщиками. В ходе решения третьей задачи составлен перечень технологических операций по выполнению ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов, назначены параметры режима и оборудование.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет около одного миллиона рублей. На основании вышеизложенного следует признать высокую эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических и организационных решений. Поставленная цель может считаться достигнутой, а полученные решения рекомендованы к промышленному внедрению.

Список используемой литературы и используемых источников

1. 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.
2. Брауде, М.З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.
3. Воропай Н. М., Мишенков В. А. Комбинированный способ плазменной и дуговой сварки разнополярными импульсами тока («гидра-процесс») // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 52–54
4. Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.
5. Гуреева М. А., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Конструкционные материалы. 2009. № 11 С. 27–41.
6. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов. – Киев : Изд-во «Наукова думка», 1981. 608 с.
7. Ердаков И. Н., Герасимчук А. В., Якшимбетова К. С. Особенности образования пористости в ходе затвердевания отливки сложной конфигурации // Наука ЮУрГУ : материалы 66-й Науч. конф. Челябинск : Изд. центр ЮрГУ. 2014. С. 810–813.
8. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2015. 325 с.
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: ТГУ, 2012. 176 с.

10. Ельцов В. В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2012. 176 с.

11. Ельцов В. В. Технология сварки плавлением : электронное учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2019. 181 с.

12. 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.

13. Ельцов В. В., Сабитов М. С. Сварка и наплавка изделий из легких сплавов трехфазной дугой неплавящимися электродами : лабораторный практикум. Тольятти : изд-во ТГУ, 2015. 40 с.

14. Ищенко А. Я., Мищенко В. А., Чаюн А. Г. Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов АМг5 и 01381 на постоянном, переменном и асимметричном токе // Автоматическая сварка. 1978. № 11. С. 46-48.

15. Калеко Д. М. Современные способы дуговой сварки алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 1994. № 5–6. С. 35–37.

16. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1. С. 17-23.

17. Короткова Г. М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335 с.

18. Короткова Г. М., Моторин К. В. Установки для сварки алюминиевых сплавов : лабораторный практикум. Тольятти : изд-во ТГУ, 2019. 41 с.

19. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

20. Краснопевцева, И.В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.
21. Кудинова, Г.Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. / Г. Э. Кудинова. – Тольятти: ТГУ, 2005. – 35 с.
22. Лебедев, В.А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
23. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
24. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
25. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инноваций на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
26. Патент 2378095 РФ, МПК В23К35/28. Присадочная проволока для сварки алюминиевых сплавов / Л. Коттины, С. Ж. Клодин, Ф. Жарри. Оpubл.10.01.2010, Бюл. № 1.
27. Покляцкий А. Г., Лозовская А. В., Гринюк А. А. Предотвращение образования оксидных плен в швах при сварке литийсодержащих алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 45–48.
28. Рабкин Д. М., Лозовская А. В., Склабинская И. Е. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. Киев : Наукова думка, 1992. 160 с.
29. Рабкин Д. М., Игнатъев В. Г., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев : Изд-во "Наукова думка", 1983. 80 с.
30. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин [и др.]; под ред. Ю.В. Казакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.

31. Ситявин Ю. И., Терминасов Ю. С., Зубриенко Г. Л. Структура и свойства сварных швов алюминиевых сплавов в зависимости от некоторых факторов технологии сварки // Сварочное производство. 1979. №8. С. 28-29.

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

33. Столбов В. И., Шаповалов В. А., Короткова Г. М. Об управлении сварочным током в источниках питания трехфазной дуги. // Сварочное производство. 1982. № 10. С. 24–25.

34. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков [и др.]; под ред. А. И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. 560 с.

35. Фридляндер И. Н., Сандлер В. Г. , Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 9. С. 3–9.

36. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИНУ. 2015. № 2. С. 5-12.

37. Na J. Effect of aging on mechanical properties and localized corrosion behaviors of Al-Cu-Li alloy // Trans. Nonferrous Metal. Soc. China. 2005. № 1. P. 23-29.