

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 Технологический процесс и оборудование
для изготовления стенки пассажирского вагона
из алюминиевого сплава

Студент

И.А. Бутьянов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

Аннотация

Проектирование и изготовление железнодорожных вагонов требует от производителя работ высокой квалификации, применения перспективных сварочных технологий, поскольку является очень сложной инженерной и технологической задачей, от выполнения которой зависит безопасность движения поездов и жизни пассажиров.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных работ при изготовлении стенки пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить литературные исследования в области сварки алюминиевых сплавов и обосновать замену аргодуговой сварки неплавящимся электродом на более производительный способ сварки;

- на основании анализа источников научно-технической информации предложить мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки;

- на основании проведённых литературных исследований предложить оборудование для выполнения сварочных операций и описать операции проектного технологического процесса изготовления стенок пассажирского вагона из алюминиевых сплавов.

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе как основного способа при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология сварки стенок вагона, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,26 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Abstract

The title of the graduation work is «Technological process and equipment for the manufacture of the wall of a passenger car from aluminum alloy».

The design and manufacture of railway cars requires highly qualified work from the manufacturer, the use of advanced welding technologies, since it is a very complex engineering and technological task, on the implementation of which the safety of train traffic and the life of passengers depends.

The aim of the work is to increase the productivity of welding works in the manufacture the wall of a passenger car from aluminum alloy.

The following tasks have been solved:

- carry out literary research in the field of welding aluminum alloys and substantiate the replacement of non-consumable electrode argon-arc welding with a more efficient welding method;

- based on the analysis of scientific and technical information sources, propose measures to improve the efficiency of the selected welding method;

- on the basis of the conducted literary studies, to propose equipment for performing welding operations and describe the operations of the design technological process of manufacturing the walls of a passenger car from aluminum alloys.

Analysis of possible welding methods made it possible to substantiate the choice of automatic submerged-arc welding as the main method in the construction of design welding technology. The design technology of welding was drawn up, the parameters of the welding mode and the equipment used were assigned.

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

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 1,26 million rubles.

Содержание

Введение	6
1 Анализ современного состояния сварки алюминиевых сплавов в вагоностроении.	8
1.1 Описание конструкции пассажирского вагона и условий его работы	8
1.2 Сведения о материале изготовления стенок вагона	11
1.3 Базовая технология сварки стенок пассажирского вагона	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	19
2 Проектная технология изготовления стенок пассажирского вагона.	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки	21
2.2 Повышение эффективности сварки плавящимся электродом.	31
2.3 Предлагаемый способ сварки.	35
2.4 Описание операций технологического процесса.	38
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	43
3.1 Технологическая характеристика объекта	43
3.2 Идентификация профессиональных рисков	44
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	46
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	47
3.5 Обеспечение экологической безопасности	49
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.	51
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	51
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	53
4.3 Расчет штучного времени	54
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	56

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	60
4.6 Показатели экономической эффективности.	63
Заключение	66
Список используемой литературы и используемых источников.	67

Введение

Пассажирские вагоны введены в постоянную эксплуатацию с 19-го века и постепенно стали пользоваться большим спросом среди населения. Ведь благодаря развитию железнодорожных путешествий стали развиваться города и осваиваться новые земли. С каждым годом растут города и их население становятся все больше и тем самым спрос на железнодорожные поездки тоже увеличивается. Таким образом, в наше время актуально создание пассажирских вагонов с большим вмещением в себя людей, который должен соответствовать всем нормативам качества, быть легким, прочным и минимально ресурсозатратным [4]. В прошлом веке для построения вагона в основном применялась сталь марок Ст3, Ст15, Ст20. Прочность и технологичность в производстве позволяла использовать различные способы сварки [11], [25].

Проектирование и изготовление железнодорожных вагонов требует от производителя работ высокой квалификации, применения перспективных сварочных технологий, поскольку является очень сложной инженерной и технологической задачей, от выполнения которой зависит безопасность движения поездов и жизни пассажиров. Правильно выполненное проектирование и изготовление вагона в значительной мере определяет технико-экономические показатели всех подразделений железных дорог. Вагон является очень сложной технической системой, содержащей множество подсистем: механическую, электро-теплотехническую и др.

Первые железнодорожные поезда изготавливались стальными, однако они имеют большой вес, а следовательно, большой расход электроэнергии, поэтому поезда начали делать из более легких алюминиевых сплавов [11], [23].

В настоящее время алюминиевые сплавы становятся наиболее востребованным конструкционным материалом, по распространению и внедрению приближающимся к сталям [23]. Выгодные физические и

химические свойства алюминиевых сплавов позволяют расширять область их применения на кораблестроение [35], вагоностроение [4], [11], [25]. Алюминиевые сплавы позволяют получить необходимую прочность конструкции при относительно небольшом удельном весе, повысить коррозионную стойкость конструкции и её способность поглощать колебания, шумы, вибрации и энергию при возникновении внештатных ситуаций. В мире накоплен значительный опыт в области применения алюминиевых сплавов в вагоностроении [22], [26], [29], [30]. К сожалению, на данный момент в Российской Федерации нет технических стандартов на проектирование, изготовление и эксплуатацию пассажирских вагонов, изготовленных из алюминиевых сплавов. При этом даже начало совместного производства электропоездов «Ласточка», «Сапсан» и «Стриж» не позволило решить эту проблему [9].

В связи с этим и многими другими проблемами производство вагонов из алюминиевых сплавов в должном объёме в Российской Федерации не налажено. Нашей стране приходится закупать алюминиевый состав за рубежом, например, в Германии. До недавнего времени экономическая и политическая ситуация в России способствовала длительному сохранению направленности на приобретение зарубежного подвижного состава. Также финансовые потоки были распределены таким образом, что большая часть финансовых средств обтекала отечественного производителя и центры российской науки, что существенно тормозило разработки в области сварки алюминиевых вагонов. Одним из основных элементов вагона является стенка. В настоящее время стенки вагона из алюминиевых сплавов свариваются ручной аргонодуговой сваркой, что является базовым вариантом. Однако этот способ не обеспечивает высокой производительности. Таким образом, актуальной следует признать цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных работ при изготовлении стенки пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

1 Анализ современного состояния сварки алюминиевых сплавов в вагоностроении

1.1 Описание конструкции пассажирского вагона и условий его работы

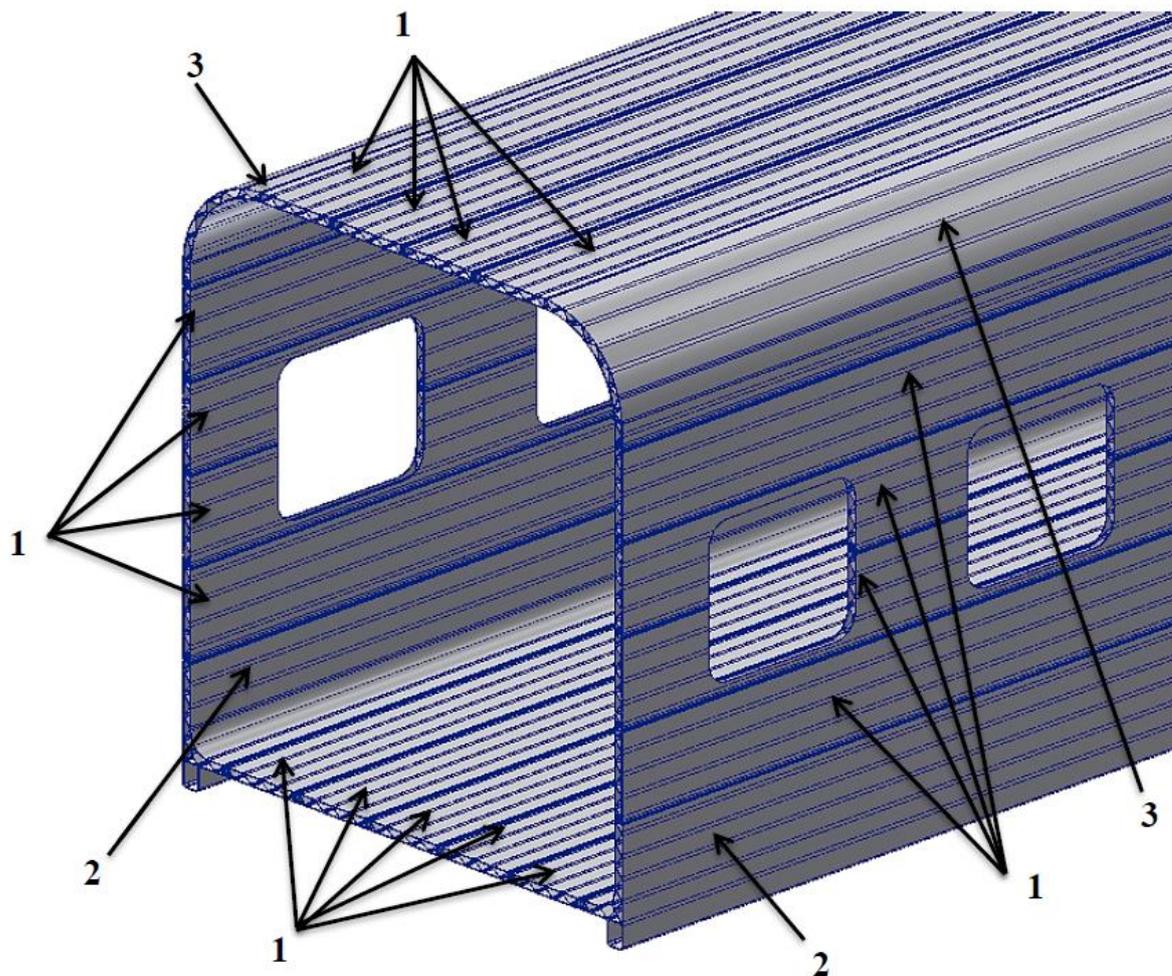
Экспериментальный пассажирский вагон из алюминиевого сплава спроектирован на базе широко эксплуатируемого в настоящее время вагона модели 61-4440 [24], [8]. Масса кузова составляет 12,8 т, количество пассажиров – 36 человек.

Конструкция вагона является цельнометаллической замкнутой оболочкой, представленной на рисунке 1. В стенках кузова вагона предусмотрены вырезы для окон и дверей. Стенки, потолок и пол вагона выполнены из экструдированных алюминиевых панелей. При этом для изготовления вагона применяется три вида панелей согласно рисунка 2.

Для выполнения продольной панели рамы, крыши и боковых стен – прямолинейные панели. Для соединения боковых стен и крыши – криволинейные панели. Для соединения рамы с боковыми стенами – угловые прямолинейные панели.



Рисунок 1 – Кузов пассажирского вагона из алюминиевого сплава (без тамбурных перегородок)

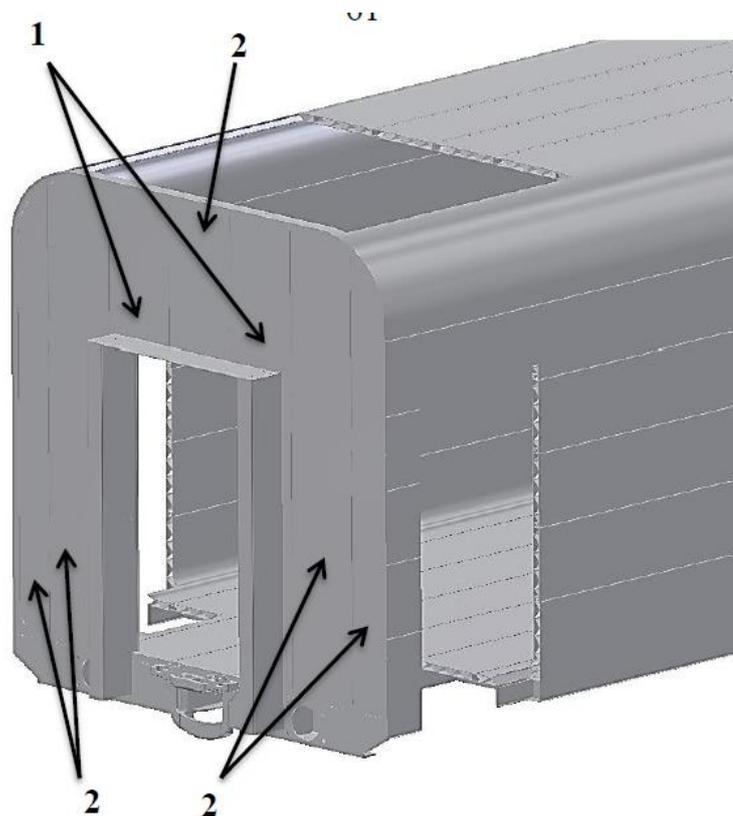


1 – прямолинейные панели; 2 – угловые панели; 3 – криволинейные панели

Рисунок 2 – Выполнение кузова пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых панелей

Торцевые стенки вагона, представленные на рисунке 3, выполняются из прямолинейных экструдированных панелей. Для соединения экструдированных панелей между собой при изготовлении боковых и торцевых стенок вагона применяется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. При этом соединяемые встык панели имеют соответствующие выступы и пазы, как показано на рисунке 4, которые обеспечивают точность и герметичность сборки.

Эффективность применения экструдированных панелей из алюминиевых сплавов при изготовлении железнодорожных вагонов доказана российскими [5], [15] и зарубежными [38], [39], [42] исследователями.



1 – панели дверного проёма; 2 – прямолинейные экструдированные панели

Рисунок 3 – Выполнение торцевых стенок вагона из экструдированных алюминиевых панелей

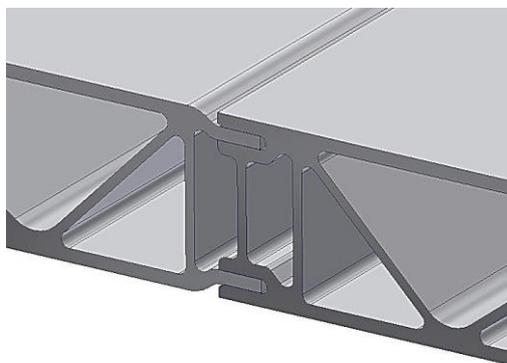


Рисунок 4 – Соединение экструдированных алюминиевых панелей «шип-паз»

В процессе эксплуатации вагон подвергается различным силовым воздействиям. Единая динамическая система «вагон-путь» предусматривает наличие нескольких видов колебаний, вызывающих деформацию конструкции вагона [11]: вертикальные линейные колебания (подпрыгивание и галлопирование), горизонтальные поперечные колебания (поперечный относ, боковая качка, виляние).

1.2 Сведения о материале изготовления стенок вагона

Для изготовления торцевых и боковых стенок пассажирского вагона применяются экструдированные панели, которые могут быть выполнены из различных сплавов. В соответствии с результатами российских и зарубежных исследований в области построения транспортных средств из алюминиевых сплавов [14], [15], могут применяться согласно таблицы 1: алюминий-магниевого сплавы (АМг), алюминий-марганцевые сплавы (АМц), термически упрочняемые сплавы (1545).

Таблица 1 – Механические свойства алюминиевых сплавов для изготовления панелей стенки вагона

Наименование сплава	Минимальное значение предела прочности, МПа	Минимальное значение предела текучести, МПа	Минимальное значение относительного удлинения, %	Оценка коррозионной стойкости
АМг6М	340	180	20	Средняя
АМг2М	195	100	24	Высокая
АМг4М	255	150	22	
1545	380	290	16	Высокая
1535	340	280	18	
1525	310	250	15	
АМг1М	170	80	25	Высокая

Особенности алюминиевых сплавов по сравнению с низкоуглеродистыми сталями обуславливают трудности их сварки [33].

Первая трудность возникает из-за наличия на поверхности свариваемых деталей и сварочной проволоки тугоплавкого окисла Al_2O_3 . Температура плавления этого окисла достигает 2050 °С, что существенно превышает температуру плавления алюминия (660 °С). В результате такой разницы температур плавления основного металла и окисной плёнки происходит загрязнение металла сварочной ванны частицами пленки. Кроме того, эти частицы тяжёлого расплавленного алюминия, поэтому тонут в расплавленном металле, загрязняя его.

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

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

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

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

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

Применение традиционных способов сварки при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов позволяет получать сварной шов с

прочностными свойствами на 20...35 % меньшими по сравнению с прочностными свойствами основного металла [33].

Для изготовления стенок пассажирского вагона применяются панели из сплава АМгбМ, химический состав которого, согласно таблицы 2, позволяет получать среднюю коррозионную стойкость сварных швов при хорошей свариваемости основного металла.

Таблица 2 – Химический состав сплава АМгбМ, %

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti
Основа	до 0,1	5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	< 0,4	< 0,4	< 0,2	0,02 – 0,1

При сварке сплава АМгбМ основным дефектом может считаться высокая пористость, представленная на рисунке 5 [33, 37]. Наличие пор при сварке объясняется тем, что перегретый расплавленный алюминий интенсивно растворяет в себе газы, которые при остывании металла сварочной ванны выделяются в виде пузырьков и остаются в ней, не успевая полностью выйти до кристаллизации.. Таким газом является водород, который поступает в сварочную ванну из воды, содержащейся в окисной плёнке на поверхности деталей и сварочной проволоки. Именно поэтому следует выполнять тщательную химическую очистку сварочной проволоки, механическую обработку и обезжиривание кромок деталей перед сваркой.

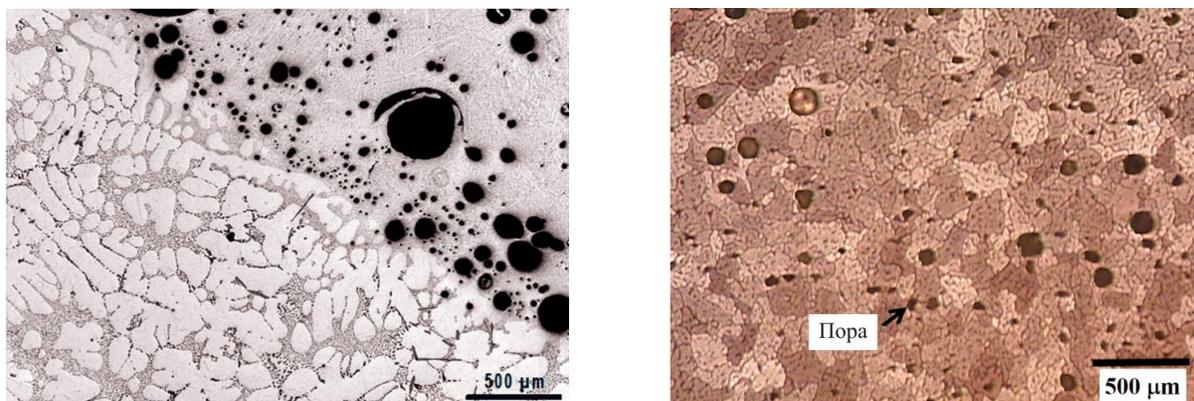


Рисунок 5 – Газовые (водородные) поры при сварке сплава АМгбМ

При выполнении сварных конструкций из сплава АМгбМ в сварном шве могут образовываться горячие трещины, представленные на рисунке 6. Причиной возникновения горячих трещин является грубая столбчатая структура металла сварного шва, по границам которой выделяется легкоплавкая эвтектика. Причиной горячих трещин при сварке сплава АМгбМ является также значительная литейная усадка, что приводит к возникновению растягивающих напряжений в момент кристаллизации металла сварного шва. Для борьбы с горячими трещинами используют специальные элементы-модификаторы, которые улучшают структуру металла сварного шва.

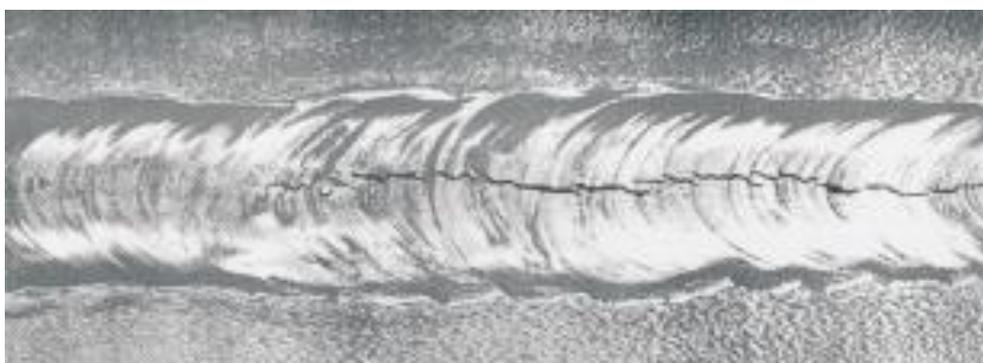


Рисунок 6 – Горячие трещины при сварке сплава АМгбМ

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

Также следует учитывать, что при выполнении сварных конструкций из сплава АМгбМ прочность сварного шва может существенно

варьироваться в зависимости от доли участия присадочного металла с сварном шве. При этом изменяется содержание легирующих элементов и примесей.

1.3 Базовая технология сварки стенок пассажирского вагона

Чтобы «предупредить и устранить вредное влияние оксидов и загрязнений на качество сварки, производят подготовку поверхностей деталей. Перед сваркой место сварки зачищают, удаляя окисную пленку на ширину не менее 20 мм от места наложения сварного шва. Очистку производят механическим способом (при помощи щеток из нержавеющей проволоки). Потом поверхность очищают химическим способом, предусматривающим выполнение следующих операций:

- обезжиривают поверхности 5%-м водным раствором едкого натра при температуре 60...80 °С в течение 2 мин;
- промывают поверхности в теплой воде с температурой не ниже 45 °С, а потом промывают с использованием холодной проточной воды;
- осветляют поверхности с применением 15%-о водного раствора азотной кислоты с температурой 60...65°С, в течение 2...5 мин;
- промывают поверхности в теплой воде с температурой не ниже 45 °С и затем в холодной воде;
- осуществляют сушку тёплым воздухом с температурой не ниже 60 °С до окончательного удаления влаги» [6].

Перед выполнении сварки следует обезжирить кромки деталей с применением растворителя (ацетон). При этом сварку следует выполнять не позднее 24 часов после химической очистки деталей и не позднее 12 часов после химической очистки присадочной проволоки.

Присадочная проволока для сварки конструкций из сплава АМг6М поставляется в нагартованном или отожженном состоянии.

Перед началом сварки необходимо «подвергнуть наружному осмотру проволоку, чтобы проверить состояние поверхности. При этом должны удовлетворяться требования ГОСТ 7871: проволока должна быть с чистой поверхностью, не должна иметь трещин, закатов, заусенцев, вмятин, расслоений и быть без резких перегибов. Диаметр проволоки определяют при помощи микрометра, качество поверхности проволоки определяют визуально, оптические приборы не применяются» [31].

Перед сваркой следует выполнять химическую очистку сварочной проволоки. По результатам такой очистки поверхность проволоки должна быть блестящей и иметь шероховатость не более 2,5 мкм.

Если после очистки проволоки она хранится на воздухе, то сварку можно начинать не позднее 12 часов. Если после химической очистки проволоки она хранится в герметично закрытой таре, сварку можно начинать не позднее 36 часов.

Для защиты металла сварного шва от вредного воздействия воздуха применяется защитный газ, в качестве которого используется чистый аргон согласно ГОСТ 10157, который доставляется на сварочный участок в баллонах, окрашенных в серый цвет и имеющих зелёную надпись «аргон». Давление аргона в баллонах составляет 15 МПа. В каждом баллоне содержится 6,2 м³ газообразного аргона.

Таблица 3 – Состав газообразного аргона по ГОСТ 10157–79

Сорт аргона	Содержание, об %			Влага, г/м ³
	Аргон	Азот	Кислород	
Высший	≤ 99,99	≤ 0,006	≤ 0,0007	≤ 0,007

Для сварки применяют проволоку Св-АМг6 по ГОСТ 7871-75. В качестве неплавящегося электрода используют пруток из лантанированного вольфрама.

Для сварки применяют сварочный источник питания TETRIX 551 AC/DC SYNERGIC FWD , представленный на рисунке 7.

Таблица 4 – Состав присадочной проволоки Св-АМгб по ГОСТ ГОСТ 7871-75

Mg	Mn	Ti	Fe	Si	Cu	Zn	Be	Примесей
4,8... 5,8	0,5... 0,8	0,1... 0,2	до 0,4	до 0,4	до 0,05	до 0,2	0,002... 0,005	всего до 1,4

Таблица 5 – Механические свойства наплавленного металла проволокой Св-АМгб

Предел текучести, МПа	120
Предел прочности, МПа	265
Относительное удлинение, %	26

Таблица 6 – Характеристика электродов ЭВЛ (ГОСТ 13949-80)

Марка	Содержание добавки, %	Маркировка торцов прутков	Размер прутков, мм		Допустимая токовая нагрузка, А при диаметре, мм			
			диаметр	длина	2	3	4	5
ЭВЛ	1,1...1,4	Черный	1,0...4,0	75; 150	20	190	380	590



Рисунок 7 – Сварочный источник питания TETRIX 551 AC/DC SYNERGIC FWD

Таблица 7 – Техническая характеристика аппарата TETRIX 551

Параметр	Значение
Диапазон регулирования сварочного тока	5...550 А
Напряжение холостого хода	80 В
Максимальная потребляемая мощность	22,2 кВА
Коэффициент мощности	0,99
кпд	85 %
Габаритные размеры	1080x690x1195 мм
Вес аппарата	181,5 кг
Класс защиты	IP23

Таблица 8 – Параметры режима сварки неплавящимся электродом по базовой технологии

Толщина свариваемого металла	Условное обозначение сварного шва по ГОСТ 14806	Диаметр вольфрамового электрода	Диаметр сварочной проволоки	Расход аргона	Сварочный ток
3 мм, 4 мм	C2	4,0	3,0 мм	7...8 л/мин	150...170 А

В процессе выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом следует строго соблюдать технику сварки. Между неплавящимся электродом и сварочной проволокой следует соблюдать угол, приблизительно равный 90 °. Подачу присадки в сварочную ванну следует осуществлять с применением коротких возвратно-поступательных движений. Следует избегать поперечных колебаний неплавящегося электрода относительно свариваемых деталей. Для того, чтобы уменьшить перегрев основного металла, сварку следует вести «левым» способом – справа налево. Также необходимо поддерживать длину дуги 1,5 ... 2,5 мм. Вылет электрода от торца наконечника горелки должен составлять порядка 1...1,5 мм. После выполнения сварного шва следует выполнить зачистку усиления до высоты 1 мм.

Выявление дефектов сварки выполняют при помощи визуально-измерительного и ультразвукового контроля, которые выполняют после сварки. Визуально-измерительный контроль выполняют сразу после сварки по всей протяжённости сварного шва. При этом в ходе визуально-

измерительного контроля выявляются такие дефекты, выходящие на поверхность, как оксидные включения, несплавления, газовая пористость, вольфрамовые включения, горячие и холодные трещины, раковины.

Недопустимыми дефектами при визуально-измерительном контроле являются: подрезы, выводы кратера на основной металл, наплывы, непровары, трещины, прожоги, незаваренные кратеры.

Если в процессе визуально-измерительного контроля был обнаружен недопустимый дефект, это место следует зачистить до его устранения и переварить. Допускается не более двух исправлений дефектов в одном месте.

Обнаружение внутренних дефектов в сварных соединениях выполняют при помощи ультразвукового дефектоскопа УД 2-102. По результатам проверки не допускаются: газовая пористость, вольфрамовые включения, горячие и холодные трещины, раковины. Выявление дефектов осуществляют теневым методом.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности сварочных работ при изготовлении стенки пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

В ходе анализа конструкции торцевых и боковых стенок вагона, выполненных из панелей из сплава АМгб установлено, что выполнение сварных швов на рассматриваемом изделии может быть автоматизировано с получением экономического эффекта, который будет необходимо рассчитать в ходе выполнения оценочного раздела выпускной квалификационной работы.

Выполнен анализ свариваемости алюминиевого сплава АМгб, выявлены затруднения, возникающие при сварке этого сплава (высокая металла пористость сварного шва, высокая вероятность возникновения

горячих трещин, растрескивание в кратере при окончании сварки) и мероприятия по устранению этих затруднений.

Выполнен анализ базовой технологии сварки стенок вагона из алюминиевого сплава с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Выявлены недостатки базовой технологии: 1) низкая производительность выполнения сварочных работ; 2) повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой; 3) высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

Устранение недостатков базовой технологии и достижение поставленной цели выпускной квалификационной работы возможно, если указанные недостатки устранить. Для этого следует решить следующие задачи.

Первая – выполнить литературные исследования в области сварки алюминиевых сплавов и обосновать замену аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на более производительный способ сварки.

Вторая – на основании анализа источников научно-технической информации предложить мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки

Третья – на основании проведённых литературных исследований предложить оборудование для выполнения сварочных операций и описать операции проектного технологического процесса изготовления стенок пассажирского вагона из алюминиевых сплавов.

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

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

2 Проектная технология изготовления стенок пассажирского вагона

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Повышение эффективности сварочных процессов при изготовлении торцевых и боковых стенок пассажирских вагонов из алюминиевых сплавов должно предусматривать существенное изменение технологического процесса, в том числе и замену способа сварки на более перспективный. Обоснование выбора способа сварки алюминиевых сплавов при изготовлении стенок пассажирского вагона должно основываться на результаты литературных исследований. Для поиска источников научно-технической информации применяли поисковую систему Google, поиск вели по ключевым словам «сварка алюминиевых сплавов», «транспортная конструкция», «листовая конструкция», «диссертация», «патент», «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «Сварка и диагностика», «вагоностроение».

Для сварки алюминиевых сплавов применительно к вагоностроению могут быть использованы такие способы сварки, как контактная точечная сварка, дуговая точечная сварка, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в инертном газе, сварка трением с перемешиванием, сварка сжатой дугой, сварка трёхфазной дугой.

Выполнение точечной контактной сварки предусматривает применение нахлесточного соединения, изображённого на рисунке 8. Детали «предварительно сжимаются электродами из медных сплавов и нагреваются проходящим электрическим током до появления внутри деталей расплавленной зоны - ядра или точки. Расплавленный металл удерживается в ядре от выплеска и надежно защищается от окружающей атмосферы уплотняющим пояском, представляющим собой зону пластической деформации, непосредственно примыкающую к ядру» [12].

Преимуществами контактной точечной сварки алюминиевых сплавов является: простота автоматизации основных и вспомогательных операций технологического процесса, высокая производительность, хороший внешний вид сварных соединений и отсутствие видимого сварного шва.

Недостатками контактной точечной сварки алюминиевых сплавов является: сложность удаления окисной плёнки с поверхности деталей, вследствие чего окисные включения могут в значительном количестве присутствовать в сварной точке; для выполнения сварки требуется высокая мощность сварочного оборудования, порядка 300 кВА; отсутствие достоверных способов контроля качества, полностью исключающих дефектные сварные точки при изготовлении такой ответственной конструкции, как пассажирский вагон.

Свариваемость алюминиевых сплавов точечной сваркой зависит не только от состава, но и от термообработки сплава. С увеличением пластичности алюминиевых сплавов в направлении Д16 - Д16М - АМц во избежание сильной деформации величина усилия сжатия снижается до 24 кгс/мм². Это вызывает снижение сварочного тока до 2800 А/мм². Обладая вообще высокой теплоэлектропроводностью, алюминиевые сплавы свариваются кратковременными импульсами тока большой величины (до 30000 А). Большие значения сварочного тока обусловлены еще малым значением электрического сопротивления в зоне контакта. Это приводит к большому весу и габаритам контактных машин.

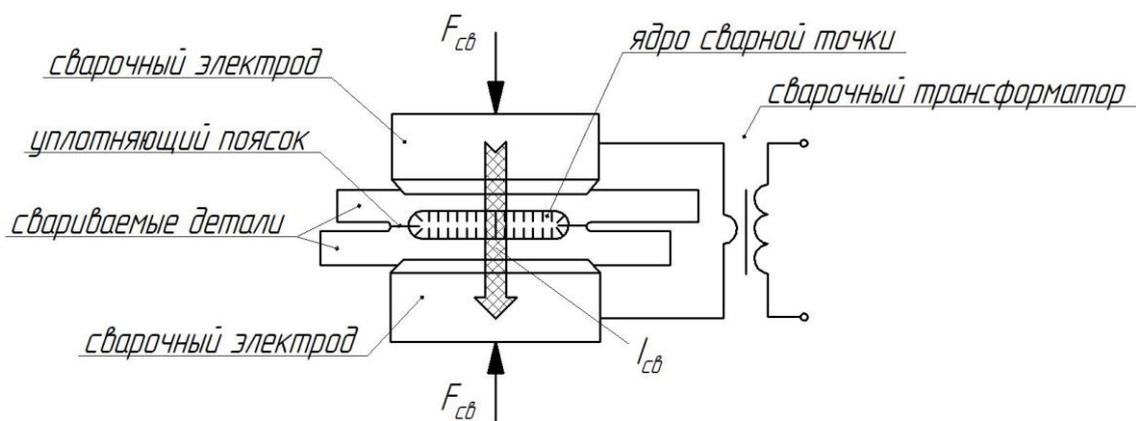
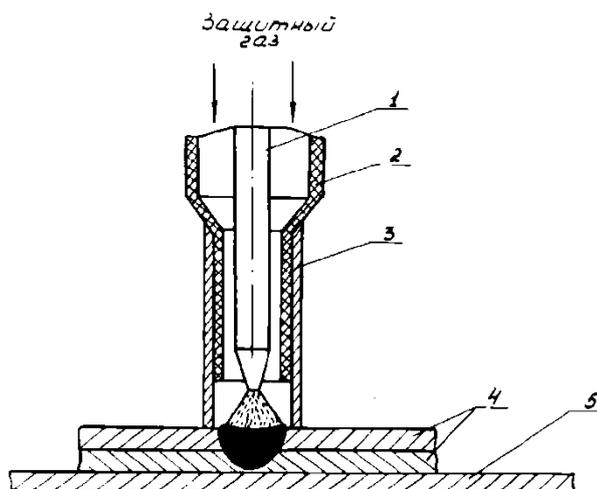


Рисунок 8 – Схема процесса контактной точечной сварки

Дуговая точечная сварка электродзаклёпками, схема которой представлена на рисунке 9, является весьма перспективным способом, который нашел применение при сварке алюминия и его сплавов [9], [27]. Сварка неплавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности способствует интенсивной катодной очистке листов, но стойкость вольфрамовых электродов в этом случае резко снижается. Длина дуги, от которой в основном зависит качество соединения, изменяется по мере разрушения электрода. Увеличивается блуждание дуги и уменьшается проплавливающая способность. Схема сварки электродзаклепками открытой дугой предусматривает обязательное сжатие свариваемых элементов за пределами формируемой точки через шорное сопло. При блуждании дуга перебрасывается на опорное сопло и разрушает его. Оптимальная длина дуги, при которой обеспечивается ее стабильное горение и получается качественная электродзаклепка, составляет всего 1,0...1,5 мм. При длине дуги менее 1,0 мм возможно прилипание электрода к изделию. Длину дугового промежутка необходимо проверять и регулировать через каждые 30...40 сварных точек, что отрицательно сказывается на производительности процесса.



1 – неплавящийся электрод; 2 – керамическое сопло;
3 – опорное сопло; 4 – свариваемые детали; 5 – подкладка

Рисунок 9 – Схема сварки электродзаклёпками

Использование в качестве защитного газа гелия способствует разрушению окисной пленки даже при сварке постоянным током прямой полярности. Однако применение данного способа сдерживается из-за трудности возбуждения дуги. В настоящее время возбуждение дуги происходит либо замыканием электрода на деталь, либо от высокочастотного разряда осциллятора. Первый способ возбуждения предусматривает наличие специального устройства, с помощью которого после замыкания электрода устанавливается необходимая длина дуги. Такое устройство сложно, не стабильно в работе. Использование осциллятора оказывает отрицательное влияние на работу электрооборудования.

Основной трудностью при контактной точечной сварке и дуговой точечной алюминиевых сплавов является наличие тугоплавкой окисной пленки Al_2O_3 . Эта плёнка существенно снижает качество выполняемых сварных точек. Полное удаление окисной плёнки с поверхности алюминиевых деталей перед сваркой невозможно. Однако после очистки образующаяся плёнка имеет значительно меньшую и равномерную толщину.

Пленка окислов является также основной причиной пористости сварных швов. Удаление окисной пленки - процесс трудоемкий и технологически сложный. Для неотчетственных и крупногабаритных конструкций очистка производится ручными или приводными металлическими щетками.

Химическое травление включает обработку в растворах щелочей или кислот, промывку в горячей воде, осветление в 10% растворе азотной кислоты, промывку в горячей воде с протиркой ветошью и просушку при температуре 40...70°C. При высокой производительности процесса контактной точечной сварки и дуговой точечной сварки предварительная подготовка поверхности сводит к минимуму преимущества этих способов.

В настоящее время при изготовлении ответственных конструкций в авиастроении и космической технике получила применение сварка неплавящимся электродом в инертных газах. Этот способ сварки позволяет достигать высокого качества соединений.

Преимуществами сварки неплавящимся электродом в инертном газе являются: малая зона термического влияния, высокое качество сварных соединений, хороший внешний вид сварных швов, возможность регулирования состава и свойств сварного шва за счёт изменения доли присадочного металла.

В качестве недостатков сварки неплавящимся электродом в инертном газе можно отметить: низкая производительность выполнения сварочных работ, повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

Своей дальнейшее развитие способ сварки неплавящимся электродом получил в таком способе сварки алюминиевых сплавов, как сварка трёхфазной дугой [16], [7].

При сварке с использованием трёхфазной дуги сварочная горелка оснащена двумя вольфрамовыми электродами. К каждому электроду подводится переменный ток от своей фазы, третья фаза подключена к изделию. Таким образом, при сварке наблюдается горение нескольких дуг. Между электродами горит независимая дуга. Также две дуги горят между электродами и изделием. Такое горение нескольких дуг позволяет существенно повысить устойчивость и производительность процесса сварки.

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

В качестве недостатков сварки трёхфазной дугой следует

отметить: существенное увеличение веса сварочной горелки, что делает неудобным манипуляции и увеличивает утомляемость сварщика; необходимость качественной очистки поверхности сварочной проволоки от окислов и загрязнений.

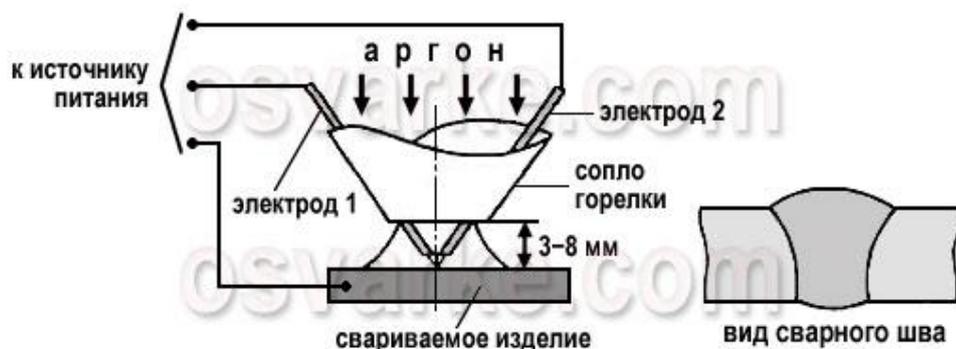


Рисунок 10 – Схема сварки трёхфазной дугой

Описанные в первом разделе выпускной квалификационной работы сложности сварки алюминиевых сплавов решаются в таком способе сварки, как сварка сжатой дугой (плазменная сварка), который выполняется постоянным током обратной полярности. Применение плазменной сварки приводит к повышению производительности, существенно повышает стабильность качества сварных соединений [36], [41].

Благодаря тому, что при плазменной сварке в столбе дуги развивается большая концентрация энергии по сравнению со сваркой неплавящимся электродом, появляется возможность существенного увеличения скорости сварки, что уменьшает остаточные напряжения и деформации в конструкции, сужает зону термического влияния.

Плазменная сварка отличается высокой устойчивостью процесса горения дуги, который мало чувствителен к колебаниям длины дуги. Это значительно повышает стабильность качества сварки.

В качестве недостатков плазменной сварки следует отметить: отсутствие опыта применения в вагоностроительном производстве, отсутствие информации об автоматизации и роботизации плазменной сварки.

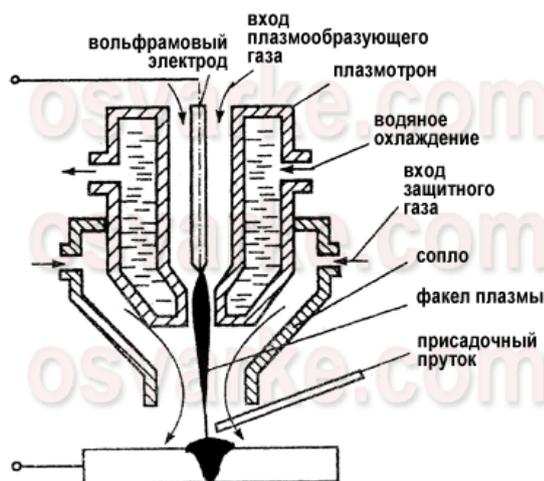


Рисунок 11 – Схема плазменной сварки

Сварка трением с перемешиванием, схема которой представлена на рисунке 12, по сравнению с другими способами сварки выгодно отличается: высокой производительностью, превышающей все ранее описанные способа сварки; существенно упрощается подготовка поверхности деталей перед сваркой; нет необходимости подготовки поверхности сварочной проволоки; отсутствует необходимость применения защитного газа; высокая стабильность качества сварных соединений.

Сварку ведут с применением «вращающегося нерасходуемого инструмента. Этот инструмент в общем случае выполнен в виде цилиндра, имеющего плоский торец диаметром D (заплечики). Из заплечиков выступает цилиндр с меньшим диаметром d (пин). Ось инструмента наклоняют на угол α относительно нормали к поверхности свариваемых деталей. Инструмент вращается со скоростью ω , погружаясь в свариваемые детали на определенную глубину h и перемещаясь вдоль стыка (сварка происходит «углом вперед») со скоростью сварки $V_{св}$. Нагрев от трения и приложенное давление от силы P_z переводит металл, находящийся под заплечиком, в пластифицированное состояние. При перемешивании пластифицированного металла и приложении к нему давления вслед за инструментом происходит формирование сварного шва. По окончании сварки на поверхности детали в

месте выхода инструмента остается характерный след в виде заглабления, повторяющего форму пина инструмента» [13].

Однако применение сварки трением ограничивается следующими присущими ей существенными недостатками [32]: 1) высокая стоимость оборудования для сварки трением с перемешиванием, специфичность которого делает невозможным применение для сварки других деталей; 2) сложность автоматизации и роботизации; 3) необходимость жёсткого закрепления деталей перед сваркой.

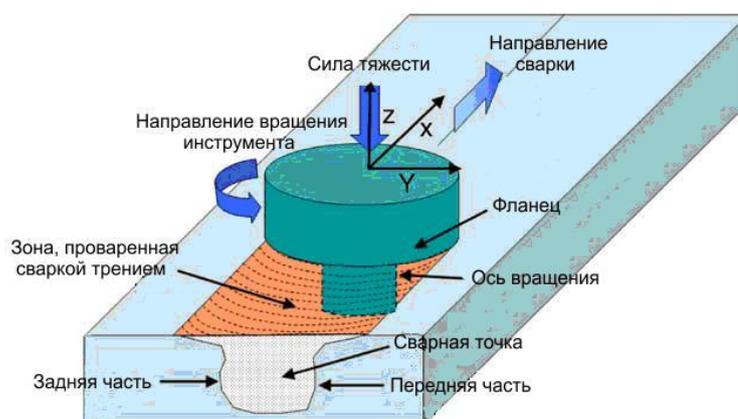


Рисунок 12 – Схема сварки трением с перемешиванием

Механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах для соединения алюминиевых сплавов обычно применяется при толщине деталей до 6 мм. Применение этого способа сварки для соединения деталей малых толщин экономически нецелесообразно. В то же время, при увеличении толщины свариваемых деталей эффективность сварки плавящимся электродом по сравнению со сваркой неплавящимся электродом возрастает, что объясняется присущими этому способу сварки глубоким проплавлением и высокой производительностью. Также следует принимать во внимание, что сварка плавящимся электродом в защитных газах позволяет достигать надежного проплавления корня шва.

При механизированной и автоматической сварке плавящимся электродом в защитных газах следует обеспечить надёжную подачу

алюминиевой электродной проволоки, которая, по сравнению со стальной проволокой существенно мягче. Это приводит к повышению вероятности получения заломов и сминания проволоки механизмом подачи.

Также следует учитывать что сварка плавящимся электродом сопровождается значительно большей пористостью по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. Это объясняется тем, что поры образуются не только в сварочной ванне, но и в каплях расплавленного металла.

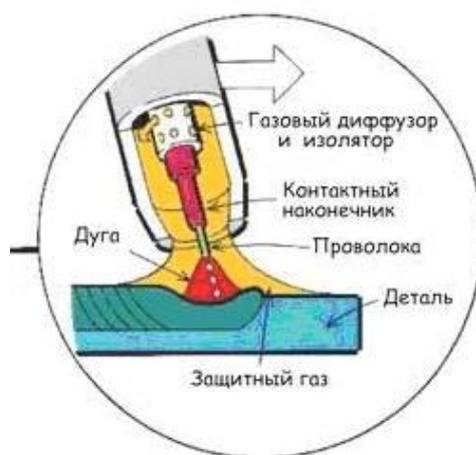


Рисунок 13 – Принципиальная схема сварки в защитных газах плавящимся электродом

Повышение эффективности механизированной сварки алюминиевых сплавов возможно при использовании специальных импульсных аппаратов. Алгоритм работы этих аппаратов предусматривает возможность получения импульса высокого напряжения на дуге, который разрушает окисную плёнку на поверхности деталей. В процессе формирования каждая сварочная капля проходит несколько стадий, управление которыми позволяет повысить стабильность переноса металла и качество сварного соединения [10]. За счёт импульсного управления переносом металла достигается: существенное снижение разбрызгивания; снижение сварочных напряжений и деформаций; упрощается возбуждение дуги; повышается стабильность горения сварочной дуги; большая концентрация энергии способствует интенсивному разрушению окисной пленки на поверхности деталей и снижению

пористости в металле шва; условия кристаллизации сварочной ванны; возрастают все показатели качества. Импульсное управление горением дуги и подачей электродной проволоки позволяют повысить эффективность механизированной сварки деталей из алюминиевых сплавов [19].

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа в числе перспективных способов для изготовления корпусов вагонов из алюминиевого сплава можно выделить:

Во-первых, механизированную сварку в инертном газе, которая обладает большой производительностью при выполнении протяжённых (не точечных) швов. При условии применения современных достижений в области управления плавлением электродного металла может быть получено качество сварки, соизмеримое со сваркой неплавящимся электродом. Во-вторых, ротационная сварка трением, которая является перспективным процессом, не требует проведения тщательной подготовки поверхности изделия и позволяет получать приемлемое качество сварки и высокую производительность при выполнении протяжённых швов. В-третьих, сварку точечную трёхфазной сжатой дугой, которая позволяет в большой производительностью получать высококачественные сварные соединения без выполнения подготовки поверхности изделия и является альтернативой контактной точечной сварке, а в ряде случаев, и дуговым способам сварки.

Экспертная оценка выбранных способов сварки, проведённая автором настоящей выпускной квалификационной работы, позволяет заключить, что существенным потенциалом для применения в вагоностроении обладает сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения. Однако для её успешного применения следует решить вопросы: снижения разбрызгивания металла, уменьшения опасности возникновения пористости, повышения стабильности качества при переходе на форсированные режимы сварки.

2.2 Повышение эффективности сварки плавящимся электродом

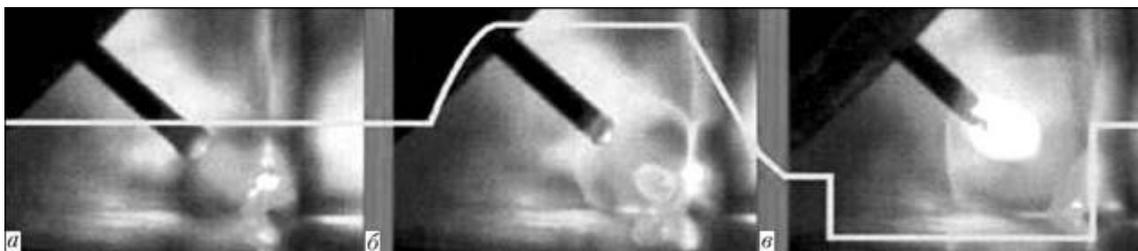
В настоящее время представленное на рынке оборудование для сварки плавящимся электродом в защитных газах прошло глубокую модернизацию. Целью этой модернизации является обеспечение возможности получения сварных швов с гарантированным качеством. За счёт управлением горения дуги и подачей сварочной проволоки достигается оптимальная геометрия наплавленного валика, что существенно снижает затраты на последующую обработку и расход присадочного металла [20].

Лидерство в разработках управляемого переноса электродного металла принадлежит фирме «КЕМРПИ» (Финляндия). Технические решения, предложенные специалистами этой фирмы, предполагают использование инверторных источников питания и синергетического управления горением сварочной дуги [3]. Оборудование и технологии, продвигаемые фирмой «КЕМРПИ», постоянно совершенствуются и модернизируются.

Немецкой фирмой «CLOSS» предложен процесс сварки, который впоследствии стал называться «холодная сварка». Новая форма импульсов сварочного тока, которая применена в этом процессе, позволяет одновременно уменьшить зону термического влияния и увеличить мощность плавления сварочной проволоки. Таким образом, достигается повышение производительности и качества сварки алюминиевых сплавов. Перенос электродного металла при «холодной сварке» происходит в несколько этапов, представленных на рисунке 14:

- в фазе «положительного основного тока» происходит очищение основного материала (разрушение оксидного слоя), в материал вносится точно рассчитанное количество тепловой энергии;
- в фазе пульсации происходит отрыв капли без образования брызг;
- в фазе отрицательного основного тока (каплеобразование) дуга захватывает конец проволоки, происходит передача определенного

количества тепловой энергии в сварочную проволоку, при этом сварочная ванна остывает» [3].



а) фаза положительного тока; б) фаза пульсации; в) фаза отрицательного тока

Рисунок 14 – Этапы переноса электродного металла при осуществлении процесса «холодной сварки»

Фирмой «Lincoln Electric» (США) предложен STT-процесс дуговой сварки, который с успехом может быть применён при строительстве конструкций из низкоуглеродистых и легированных сталей, алюминиевых сплавов. Диаграммы тока и напряжения при осуществлении STT-процесса, представленного на рисунке 15, позволяют существенно повысить стабильность качества сварных соединений и уменьшить разбрызгивание электродного металла.

Процесс STTe реализован в оборудовании для механизированной сварки INVERTEC STT2. Перспективным является недавно предложенный режим «импульс в импульсе» (Pulse-in-Pulse), который позволяет существенно интенсифицировать разрушение окисной плёнки на поверхности деталей при сварке алюминиевых сплавов. При этом качество и внешний вид сварного шва сопоставим с качеством и внешним видом сварных швов, выполненных неплавящимся электродом [20].

Специалистами ИЭС им. Е.О. Патона предложен способ механизированной сварки алюминиевых сплавов с импульсной подачей сварочной проволоки. При осуществлении этого способа перенос электродного металла осуществляется в фазе короткого замыкания, что

практически устраняет разбрызгивание и существенно повышает качество сварного шва по сравнению с традиционной механизированной сваркой [28].

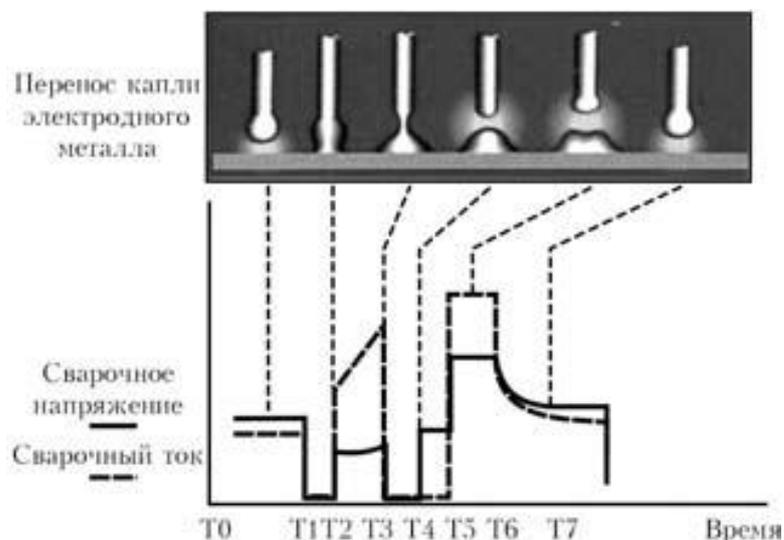


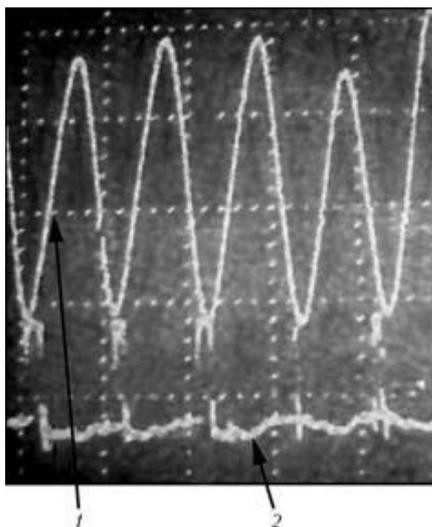
Рисунок 15 – Диаграммы тока и напряжения при осуществлении STT-процесса

На рисунке 16 представлены «характерные осциллограммы скорости импульсной подачи электродной проволоки и напряжения сварки стали. Каждый перенос капли соответствует импульсу подачи при правильно подобранных параметрах импульсного движения электродной проволоки, а указанный перенос осуществляется в разных фазах импульсов для процессов сварки сталей и алюминия» [28].

На рисунке 17 представлены «валики наплавленного металла из сплавов алюминия, полученные обычным механизированным процессом и процессом с импульсной подачей электродной проволоки. Очевидны отсутствие подрезов, регулярное формирование валиков при визуальном отсутствии включений при использовании процесса с импульсной подачей» [28].

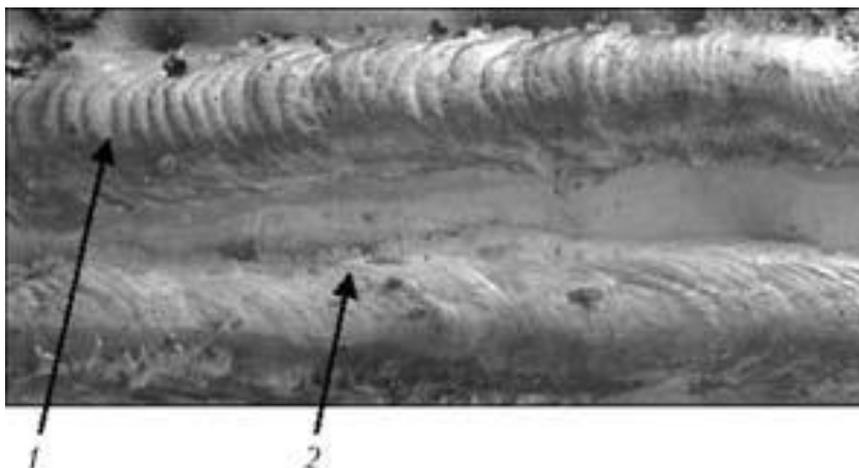
На основании результатов проведённых литературных исследований можно сделать вывод о том, что перспективным направлением повышения производительности при изготовлении сварных конструкций из алюминиевых сплавов может считаться применение модернизированной

механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах. При этом повышение эффективности способа сварки достигается за счёт управления переносом электродного металла при сварке. Современные источники питания, предлагаемые фирмами «Lincoln Electric», «Fronius», «CLOOS» реализуют оригинальные методики и подходы к управлению горением дуги и переносом электродного металла. Также интерес представляют разработки украинских учёных.



1 – скорость подачи электродной проволоки; 2 – напряжение на дуге

Рисунок 16 – Диаграммы изменения скорости подачи сварочной проволоки и напряжения на дуге при импульсном управлении согласно [28]



1 – сварной шов с импульсной подачей проволоки; 2 – сварной шов с равномерной подачей проволоки

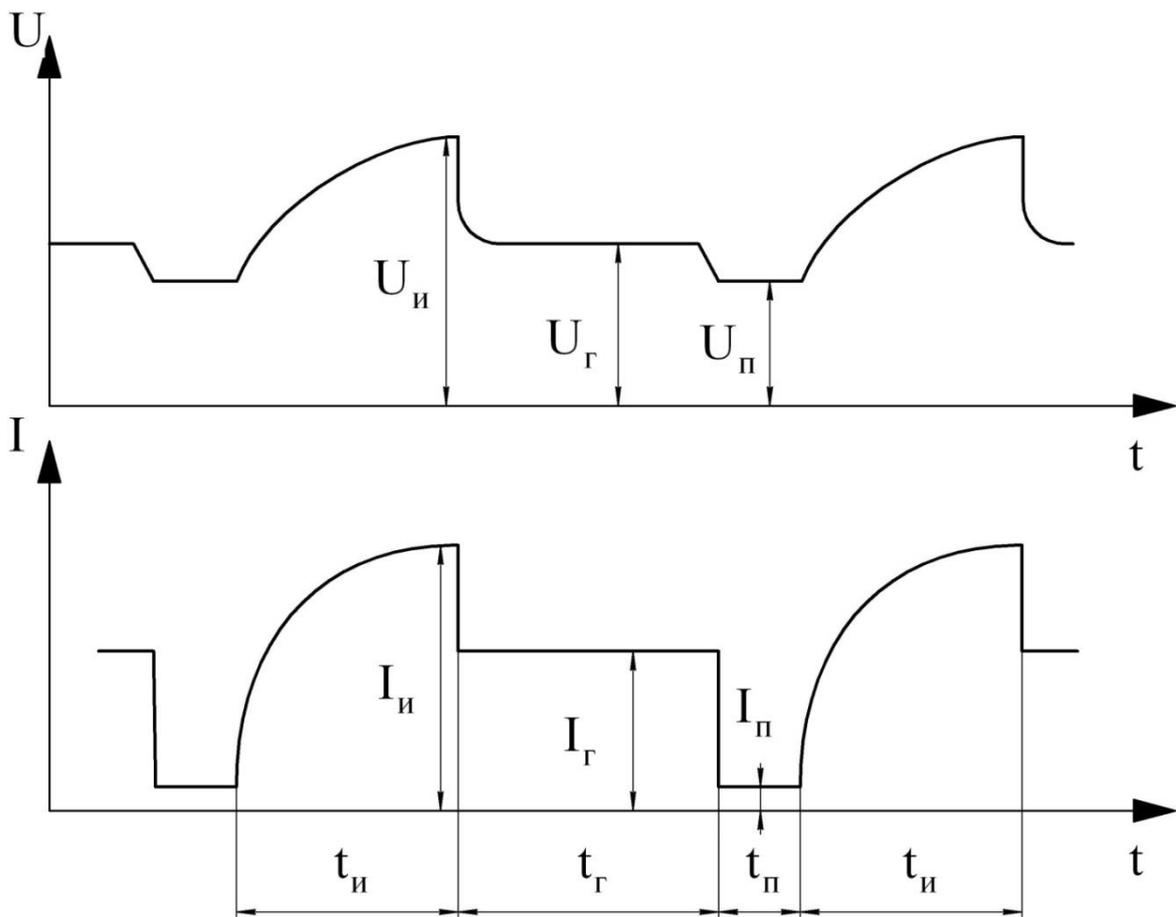
Рисунок 17 – Внешний вид сварных швов при сравнительной сварке с импульсным управлением подачей проволоки и классической механизированной сварке

2.3 Предлагаемый способ сварки

Предлагаемый способ импульсной дуговой сварки плавящимся электродом, представленный на рисунке 18, предполагает «наложение на нормально горящую дугу кратковременных импульсов сварочного тока. Отрыв капли расплавленного электродного металла и перенос ее в сварочную ванну происходит в интервале между импульсами. Перед началом каждого импульса производят ограничение тока нормально горящей дуги до значений 20...30 А на период времени 1...3 мс» [34].

«На интервале времени t_r происходит горение дуги при нормальном токе. На интервале времени t_n происходит уменьшение тока дуги I_n до значений 20...30 А. В это же время вследствие продолжающейся подачи электродной проволоки капля расплавленного электродного металла занимает соосное с электродом положение и движется навстречу сварочной ванне. В период t_n на сварочную дугу наложены импульсы тока $I_n=(300...1200 \text{ А})$, которые приводят к расширению столба дуги и втягиванию капли расплавленного электродного металла в столб дуги. В этот момент капля отрывается от проволоки и переносится в сварочную ванну. В период t_r происходит интенсивное плавление электродной проволоки с образованием на торце капли расплавленного металла. Эта капля под силовым воздействием сварочной дуги перемещается с торца электрода в сторону. После времени t_r происходит ограничение сварочного тока до величин 20...30 А на 1...3 мс, что уменьшает воздействие дуги на каплю и приводит к тому, что капля принимает соосное с электродом положение на его торце, далее процесс повторяют» [34].

При импульсном управлении обеспечивается квазистабильность формирования капли электродного металла. Улучшаются условия переноса электродного металла в сварочную ванну. Повышается качество сварных швов при выполнении сварки во всех пространственных положениях согласно рисунка 19.



I - ток; U - напряжение; t - время; $I_{и}$ - ток импульса; $I_{г}$ - ток нормально горящей дуги; $I_{п}$ - ток паузы; $U_{и}$ - напряжение импульса; $U_{г}$ - напряжение нормально горящей дуги; $t_{и}$ - время импульса; $t_{г}$ - время горения нормально горящей дуги; $t_{п}$ - время паузы.

Рисунок 18 – Осциллограммы тока и напряжения при импульсном управлении сварочной дугой

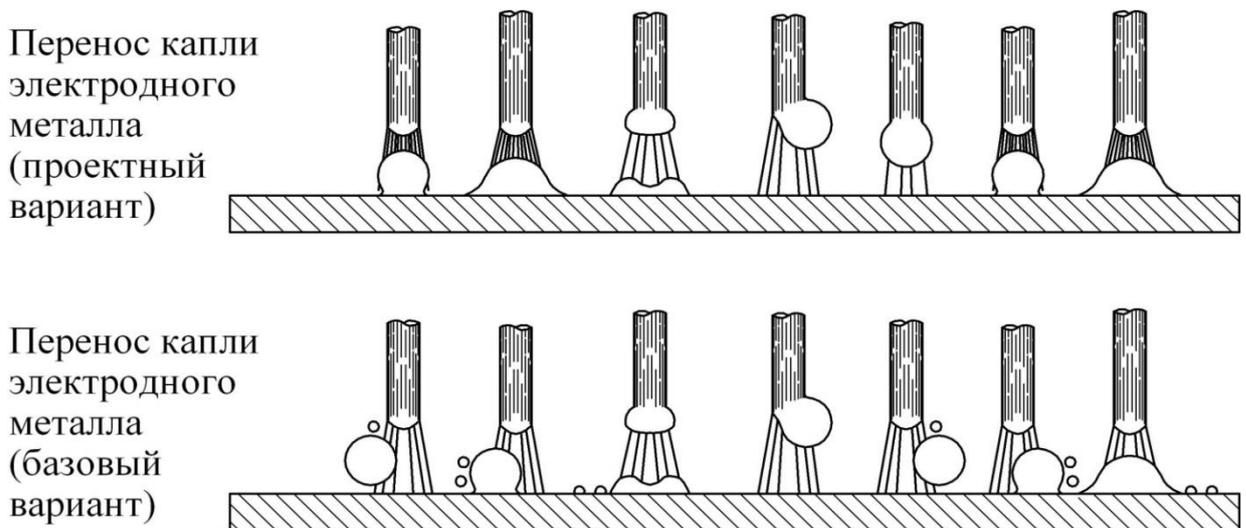
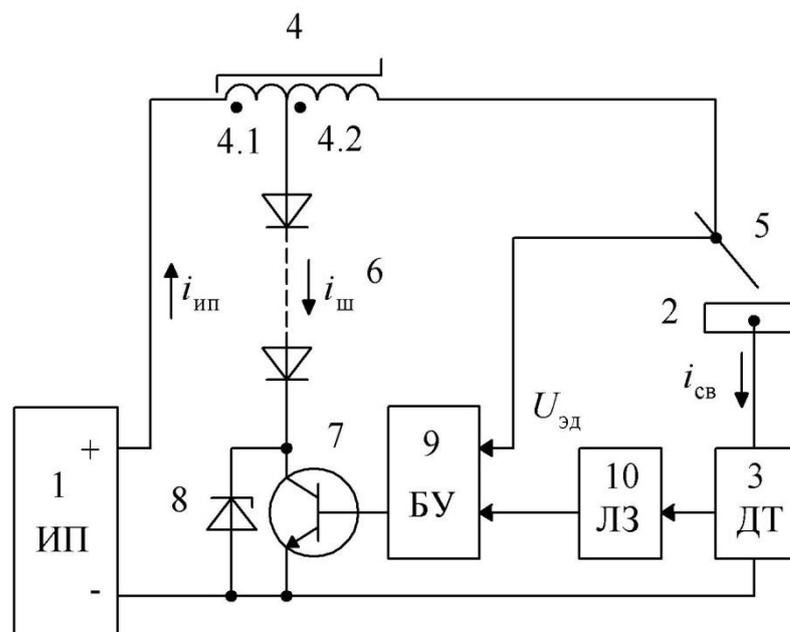


Рисунок 19 – Формирование капли в процессе импульсного управления сварочной дугой и при классической механизированной сварке

Предлагаемое устройство, выполненное согласно рисунка 20, для сварки с импульсным управлением сварочной дугой состоит из: источника питания 1 (ИП) постоянного тока; датчика тока 3 (ДТ); дросселя 4 с насыщающимся магнитопроводом и секционированной обмоткой (секции 4.1 и 4.2); электрода 5; диодов 6, соединенных последовательно и согласованно; транзистора 7; стабилитрона 8; блока управления 9 (БУ); линии задержки 10 (ЛЗ). При этом крайние выводы обмотки дросселя 4 подключены, соответственно, к клемме «плюс» источника питания 1 (ИП) и к электроду 5, а отвод от нее подключен к аноду первого диода. Катод последнего диода соединен с катодом стабилитрона 8 и с коллектором транзистора 7, эмиттер которого соединен с анодом стабилитрона 8 и клеммой «минус» источника питания 1 (ИП). Между клеммой «минус» источника питания 1 (ИП) и свариваемым изделием 2 включен датчик тока 3 (ДТ), выход которого соединен с входом линии задержки 10 (ЛЗ), а ее выход соединен с одним из входов блока управления 9 (БУ), другой вход которого соединен с электродом 5. Выход блока управления 9 (БУ) соединен с базой транзистора 7.



1 - источник питания (ИП); 2 - свариваемое изделие; 3 - датчик тока (ДТ);
4 - дроссель; 5 - сварочный электрод (проволока); 6 - блок диодов;
7 - транзистор; 8 - стабилитрон; 9 - блок управления (БУ); 10 - линия задержки (ЛЗ)

Рисунок 20 – Устройство для сварки

2.4 Описание операций технологического процесса

Выбранный способ сварки, механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитном газе, предусматривает применение сварочных материалов. Применительно к рассматриваемому способу сварки сварочными материалами являются: сварочная проволока и защитный газ.

В соответствии с результатами литературного исследования [33], для сварки алюминиевого сплава АМг6 может быть применена проволока Св-АМг6 (по ГОСТ 7871).

В качестве защитного газа может быть применён как чистый аргон (ГОСТ 10157), так и смесь защитных газов «аргона + гелий». Аргон в защитной газовой смеси используется по ГОСТ 10157 и составляет 35...40 % от объёма смеси. Гелий в защитной газовой смеси используется по ТУ 51-940 и составляет 60...65 % от объёма смеси. Для проектной технологии применим чистый аргон, использование которого обеспечит стабильное горение дуги и качество сварного соединения без дополнительных финансовых затрат на дорогостоящий гелий.

При подготовке деталей перед сваркой следует выполнить зачистку места сварки на ширине не менее 20 мм от оси сварного шва. Для выполнения механической очистки применяются щетки из нержавеющей стали.

После проведения механической очистки следует выполнить химическую очистку деталей. Для этого их обезжиривают с применением 5%-го водного раствора едкого натра. Температура раствора составляет 60...80 °С. Длительность обработки – 2 минуты.

После обезжиривания промывают поверхности деталей в тёплой воде, температура которой должна быть не ниже 45 °С. После чего выполняют промывку с применением холодной проточной воды.

После промывки выполняют осветление поверхности детали в 15%-ом водном растворе азотной кислоты. Температура раствора должна быть 60...65°C. Длительность обработки – 2...5 минуты.

После осветления промывают поверхности деталей в тёплой воде, температура которой должна быть не ниже 45 °С. После чего выполняют промывку с применением холодной проточной воды.

После промывки выполняют сушку тёплым воздухом. Температура воздуха должна быть не менее 60 °С. Просушку деталей выполняют до полного удаления влаги с поверхности деталей.

Проектная технология сварки предусматривает применением импульсного управления сварочной дугой. Питание сварочной дуги осуществляем от стандартного выпрямителя ВДУ-506, представленный на рисунке 21а. Подачу сварочной проволоки выполняем с использованием стандартного механизма подачи ПДГ 312-5, представленного на рисунке 21б. Для формирования импульсов сварочного тока применим приставку к источнику питания, которую предлагается собирать по ранее описанной схеме согласно [34].



Рисунок 21 – Оборудование для сварки по проектной технологии

При сварке следует сначала выполнить кратер на стыке между деталями. После этого выполняют плавное заплывание кратера. После

заполнения кратера расплавленным металлом выполняют перемещение сварочной горелки вдоль стыка. При этом кратер начинает также перемещаться по направлению перемещения горелки. Этот кратер имеет форму капли, которая расширяется в обратную сторону от движения горелки.

В процессе сварки следует строго соблюдать заданные параметры режима сварки согласно таблицы 9. В процессе выполнения сварного шва следует добиваться полного заполнения кратера. Перед окончанием сварки следует заполнить конечную точку кратера расплавленным аргоном и обдуть её аргоном до полного затвердевания и охлаждения. В противном случае будет наблюдаться усиленное окисление поверхности конечного кратера.

Таблица 9 – Параметры режима импульсно-дуговой сварки по проектной технологии (постоянный ток обратной полярности)

Толщина деталей	Диаметр проволоки	Сила тока	Напряжение	Вылет проволоки	Скорость сварки	Расход аргона
3 мм	1,6 мм	60... 80 А	17... 18 В	10... 12 мм	35... 40 м/ч	8... 9 л/мин
4 мм	1,6 мм	100... 120 А	19... 20 В	12... 14 мм	25... 30 м/ч	8... 9 л/мин

Таблица 10 – Параметры импульсного питания сварочной дуги

Параметр	Значение	
Ток импульса $I_{и}$	500...600 А	
Ток нормально горячей дуги $I_{г}$	Толщина 3 мм	60...80 А
	Толщина 4 мм	100...120 А
Ток паузы $I_{п}$	20...30 А	
Время импульса $t_{и}$	2...3 мс	
Время горения нормально горячей дуги $t_{г}$	14...17 мс	
Время паузы $t_{п}$	1...3 мс	

При сварке следует своевременно обнаруживать и устранять дефекты, которые приводят к снижению качества сварки и эксплуатационных свойств вагона. Контроль качества проводят внешним осмотром и неразрушающим контролем.

Визуально-измерительный контроль выполняют сразу после сварки по всей протяжённости сварного шва. При этом в ходе визуально-

измерительного контроля выявляются такие дефекты, выходящие на поверхность, как оксидные включения, несплавления, газовая пористость, вольфрамовые включения, горячие и холодные трещины, раковины [6].

На готовых изделиях следует «подвергать осмотру сварной шов и зону прилегающего металла на расстоянии до 20 мм от шва. Осмотр производят после очистки от шлака, брызг и загрязнений. О качестве шва может свидетельствовать его постоянные геометрические размеры и внешний вид, равномерная чешуйчатость шва, а также цвет поверхности изделия» [6]. Недопустимо уменьшение фактического размера шва от заданных (номинальных) размеров [6, 31].

Подготовленные сварные соединения осматривают невооруженным глазом или с использованием лупы 4...10-кратного увеличения. Размеры сварных швов контролируют измерительным инструментом или специальными шаблонами [6]. Помимо универсального мерительного инструмента контроль размеров шва может быть произведён с применением шаблонов.

Возможность выявления дефектов может зависеть о освещенности, индивидуальных свойств зрения, яркости, цвета, угловых размеров и резкости контура дефекта, а также контраста между дефектом и поверхностью изделия [6].

Если в процессе визуально-измерительного контроля был обнаружен недопустимый дефект, это место следует зачистить до его устранения и переварить. Допускается не более двух исправлений дефектов в одном месте.

Обнаружение внутренних дефектов в сварных соединениях выполняют при помощи ультразвукового дефектоскопа УД 2-102. По результатам проверки не допускаются: газовая пористость, вольфрамовые включения, горячие и холодные трещины, раковины. Выявление дефектов осуществляют теневым методом.

Выводы по второму разделу

В ходе литературных исследований был выполнен поиск источников научно-технической информации по вопросу сварки конструкций из алюминиевых сплавов. Установлено, что применительно к вагоностроению могут быть использованы такие способы сварки, как: 1) контактная точечная сварка, 2) дуговая точечная сварка, 3) аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, 4) механизированная сварка в инертном газе, 5) сварка трением с перемешиванием, 6) сварка сжатой дугой, 7) сварка трёхфазной дугой.

На основании результатов проведённых литературных исследований можно сделать вывод о том, что перспективным направлением повышения производительности при изготовлении сварных конструкций из алюминиевых сплавов может считаться применение модернизированной механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах. При этом повышение эффективности способа сварки достигается за счёт управления переносом электродного металла при сварке.

Современные источники питания, предлагаемые фирмами «Lincoln Electric», «Fronius», «CLOOS» реализуют оригинальные методики и подходы к управлению горением дуги и переносом электродного металла. Также интерес представляют разработки украинских учёных.

Для импульсного управления горением дуги и переносом электродного металла предложено использовать формирователь импульсов согласно разработке отечественных исследователей [34].

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

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при изготовлении торцевых и боковых стенок пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки в инертном газе (аргоне) проволокой сплошного сечения.

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

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

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций согласно таблицы 11: подготовка, сборка, сварка, контроль качества.

Первая операция – подготовка. Для её выполнения применяются: щётка металлическая, ванна помывочная, компрессор, приспособление для сборки. Вторая операция – сборка. Для её выполнения применяются: кран-балка, шаблон сварщика, сборочное приспособление. Третья операция – сварка. Для её выполнения применяются: кондуктор, источник питания - выпрямитель ВДУ-506, механизм подачи проволоки ПДГ 312-5, формирователь импульсов. Четвёртая операция – контроль качества. Для её

выполнения применяются: набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп.

Таблица 11 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) подготовка	Слесарь-сборщик	Щётка металлическая, ванна помывочная, компрессор, приспособление для сборки	Раствор едкого натра 10%, вода техническая, воздух сжатый
2) сборка	Слесарь-сборщик	Кран-балка, шаблон сварщика, сборочное приспособление	Рукавицы
3) сварка	Электросварщик	Кондуктор, источник питания - выпрямитель ВДУ-506, механизм подачи проволоки ПДГ 312-5, формирователь импульсов	Аргон (ГОСТ 10157), проволока Св-АМг6, рукавицы
4) контроль качества	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп	Кисточка, масло

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса согласно таблицы 12.

Таблица 12 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) подготовка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Щётка металлическая, ванна помывочная, компрессор, приспособление для сборки, острые края изделия
2) сборка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Кран-балка, шаблон сварщика, сборочное приспособление, острые края изделия
3) сварка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение 	Кондуктор, источник питания - выпрямитель ВДУ-506, механизм подачи проволоки ПДГ 312-5, формирователь импульсов
4) контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	- ультразвуковой дефектоскоп

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 13 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

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

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара согласно таблицы 14 позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 15.

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

Таблица 14 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

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

Таблица 15 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблицы 16.

Таблица 16 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

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

3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблицы 17 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 18.

Таблица 17 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

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

Таблица 18 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

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

Выводы по экологическому разделу

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

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

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

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

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

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности сварки торцевых и боковых стенок пассажирского вагона из алюминиевого сплава. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе сварки проволокой сплошного сечения в аргоне. Для повышения эффективности сварки предложено применять импульсное управление горением дуги.

При выполнении базовой технологии сварки стенок вагона применяется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе.

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

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

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблицы 19.

Таблица 19 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы: - доплат к основной заработной плате - отчислений на дополнительную заработную плату - отчислений на социальные нужды - выполнения нормы	$K_{доп}$	%	12	12
	$K_{д}$	-	1,88	1,88
	$K_{сн}$	%	34	34
	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Цоб$	Руб.	1000000	1200000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	50	100
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование : - норма амортизации оборудования - коэффициент транспортно-заготовительных расходов - коэффициент затрат на монтаж и демонтаж - стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$На$	%	21,5	21,5
	$K_{т-з}$	%	5	5
	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,8	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	m^2	200	200
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

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

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных из таблицы 19: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{\text{см}} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{\text{п}} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{\text{п}} = 1$ час, принятое для

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3 Расчёт штучного времени

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

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

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

$$t_{\text{шт.баз}} = 18 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 31,5 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 7 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 12,25 \text{ ч.}$$

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

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

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

$$\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054 / 31,5 = 65 \text{ вагонов за год;}$$

$$\Pi_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054 / 12,25 = 167 \text{ вагонов за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 40$ вагонов в год.

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

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

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

$$n_{\text{РАСЧ.Б}} = \frac{31,5 \cdot 40}{2054 \cdot 1,03} = 0,6, \quad n_{\text{РАСЧ.ПР}} = \frac{12,25 \cdot 40}{2054 \cdot 1,03} = 0,2.$$

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

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

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \quad (6)$$

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

$$K_{3б} = 0,6/1 = 0,6,$$

$$K_{3п} = 0,2/1 = 0,2.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

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

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

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

$$M_{\text{баз.}} = 976 + 8611 + 1154 = 10741 \text{ руб.},$$

$$M_{\text{проектн.}} = 976 + 8611 = 9587 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 31,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 11844 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 12,25 \cdot 200 \cdot 1,88 = 4606 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 11844 \cdot 12 / 100 = 1421 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 4606 \cdot 12 / 100 = 552 \text{ руб.}$$

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

$$\Phi ЗП_{\text{базов..}} = 11844 + 1421 = 13265 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 4606 + 552 = 5158 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$O_{\text{сн.баз.}} = 13265 \cdot 34 / 100 = 4510 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс}_{\text{проектн.}}} = 5158 \cdot 34 / 100 = 1754 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

$$A_{\text{об. баз.}} = 1000000 \cdot 21,5 \cdot 31,5 / 2054 / 100 = 3297 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 1200000 \cdot 21,5 \cdot 12,25 / 2054 / 100 = 1539 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$P_{\text{эз баз}} = 18 \cdot 50 \cdot 3,2 / 0,7 = 4114 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{эз пр}} = 7 \cdot 100 \cdot 3,2 / 0,85 = 2635 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{об\text{баз.}} = 3297 + 4114 = 7411 \text{ руб.},$$

$$Z_{об\text{проектн.}} = 1539 + 2635 = 4147 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 10741 + 13265 + 4510 + 7411 = 35927 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 9587 + 5158 + 1754 + 4147 = 20646 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 35927 + 1,5 \cdot 11844 = 35927 + 17766 = 53693 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 20646 + 1,5 \cdot 4606 = 20646 + 6909 = 27555 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{ЗАВБаз.} = 53693 + 1,15 \cdot 11844 = 53693 + 13621 = 67314 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 27555 + 1,15 \cdot 4606 = 27555 + 5297 = 32852 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 20.

Таблица 20 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	<i>M</i>	10741	9587
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	13265	5158
3. Отчисления на соц. нужды	<i>ОСН</i>	4510	1754
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	7411	4147
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	35927	20646
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	17766	6909
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	53693	27555
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	13621	5297
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	67314	32852

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $C_{\text{об.б.}}$, коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з. б.}}$ рассчитанного для базового варианта согласно (6):

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

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

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

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

$$\Pi_{об.баз.} = 1000000 - (1000000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 570000 \text{ руб.},$$

$$K_{общ.баз.} = 1 \cdot 570000 \cdot 0,6 = 342000 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

$$K_{об. пр.} = 1200000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 252000 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

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

$$K_{\text{дем}} = 1000000 \cdot 0,05 = 50000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 1200000 \cdot 0,05 = 60000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 50000 + 60000 = 110000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ.пр}} = 252000 + 110000 = 362000 \text{ руб.}$$

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

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

$$K_{\text{доп}} = 362000 - 342000 = 20000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{\Pi_{\text{Г}}}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 342000/40 = 8550 \text{ руб./ед.}; K_{\text{удПроектн.}} = 362000/40 = 9050 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

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

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

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{31,5 - 12,25}{31,5} \cdot 100\% = 61\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 61}{100 - 61} = 156\%$$

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

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

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{35927 - 20646}{35927} \cdot 100\% = 43\%$$

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

$$Pr_{ож.} = \Delta_{у.г.} = \left(C_{зав}^{б} - C_{зав}^{пр} \right) \cdot П_{Г} . \quad (29)$$

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

$$\Delta_{У.Г.} = (67314 - 32852) \cdot 40 = 1378480 \text{ руб.}$$

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

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\Delta_{УГ}} . \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = \frac{362000}{1378480} = 0,3$$

Годовой экономический эффект $\Delta_{г}$, получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\Delta_{г} = \Delta_{УГ} - E_{н} \cdot K_{доп} \quad (31)$$

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

$$\Delta_{г} = 1378480 - 0,33 \cdot 362000 = 1259020 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии сборки и сварки стенок пассажирского вагона применяется аргодуговая сварка неплавящимся электродом. Недостатки её применения: низкая производительность

выполнения сварочных работ, повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 61 %, повышение производительности труда на 156 %, уменьшение технологической себестоимости на 43 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,38 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,26 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Следует также отметить, что экономический эффект был рассчитан для пробной партии вагонов – 40 штук. Переход на массовый выпуск вагонов и с учётом потребности российских железных дорог увеличит экономический эффект на несколько порядков.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных работ при изготовлении стенки пассажирского вагона из алюминиевого сплава.

Выполнен анализ базовой технологии сварки стенок вагона из алюминиевого сплава с применением аргодуговой сварки неплавящимся электродом. Выявлены недостатки базовой технологии: низкая производительность выполнения сварочных работ, повышенные требования к подготовке деталей и проволоки перед сваркой, высокие требования к квалификации сварщика и общей культуре производства.

На основании результатов проведённых литературных исследований можно сделать вывод о том, что перспективным направлением повышения производительности при изготовлении сварных конструкций из алюминиевых сплавов может считаться применение модернизированной механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах. При этом повышение эффективности способа сварки достигается за счёт управления переносом электродного металла при сварке.

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

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,26 млн. рублей.

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

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды С. В. Белов. М. : Машиностроение, 1990. – 372с.
2. Бинневис Х. Разработка скоростного поезда ICE // Железные дороги мира. 1984. № 3. С. 10–15.
3. Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н. Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // Автоматическая сварка. 1999. № 6. С. 26–32.
4. Гиньяр Р. Новые вагоны с кондиционированием воздуха для междугородного сообщения Швейцарских федеральных железных дорог // Chemins de Fer. 1976. № 1. С. 50–75.
5. Гуреева М. А., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Машиностроение и инженерное образование. 2009. № 3. С. 27–41.
6. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов. Киев : Изд-во «Наукова думка», 1981. 608с.
7. 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.
8. Жуков А. С. Обоснование конструкции кузова пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых панелей : дисс... канд. техн. наук, М. : Российский государственный университет транспорта. 2020. 160 с.
9. Жуков А. С. Отработка методики исследования прочности вагонных конструкций из алюминиевых сплавов // Вестник РГУПС. 2016. № 1. С. 43-50.
10. Зайцев О. И. Прогнозирование параметров режима при импульсно-дуговой сварке алюминиевых сплавов : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Олег Игоревич Зайцев ; Тульский государственный университет. Тула, 2003.

11. Кардини, Е. Высокоскоростной подвижной состав железных дорог Италии // Железные дороги мира. 1989. № 11. С. 14-19.
12. Климов А. С., Смирнов И. В., Кудинов А. К., Кудинова Г. Э.. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки : учебное пособие. Санкт-Петербург : Лань, 2011. 336 с.
13. Котлышев Р. Р. Механизм образования соединения и особенности технологии сварки алюминиевых сплавов трением с перемешиванием: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.10 / Роман Рефатович Котлышев ; Донской государственный технический университет. Ростов-на-Дону, 2010. 145 с.
14. Конюхов А. Д., Шуртаков А. К., Воробьева Т. Н. Алюминиевые сплавы и нержавеющие стали в конструкциях кузовов железнодорожного подвижного состава с целью обеспечения их коррозионной стойкости и конструкционных характеристик // Технология лёгких сплавов, М.: Всероссийский институт легких сплавов, 2010. № 3. С. 87–94
15. Конюхов, А.Д. Конструкционные материалы для кузовов пассажирских вагонов и мотор-вагонного подвижного состава // Тяжелое машиностроение. 2004. № 11. С. 5–8.
16. Короткова Г. М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335с.
17. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
18. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти: ТГУ, 2005. 35 с.
19. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
20. Лебедев В.А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла // Автоматическая сварка. 2010. № 10. С. 45–53.

21. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
22. Лобанов Л. М., Пашин Н. А. Влияние электродинамической обработки на особенности микромеханизма разрушения сварных соединений алюминиевого сплава АМг6 // Автоматическая сварка. 2007. № 2. С. 3–8.
23. Митяев А. А., Беликов С. Б., Волчок И. П. Производство и применение алюминиевых сплавов в транспортном машиностроении // Вісн. двигунобудування. 2006. № 1. С. 155–158.
24. Нормы расчёта и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. 260 с.
25. Ноэль И. Новые материалы для вагонов метрополитена // Железные дороги мира. 1990. № 1. С. 16.
26. Олабоде М., Ках П., Мартикайнен Дж. Металлургические особенности сварки высокопрочного алюминиевого сплава 7025-T6 // Автоматическая сварка. 2012. № 4. С. 24–35.
27. Патент 2375161 РФ Электрозаклёпочное соединение и способ его получения / С.Р. Аманов, А.В. Каргин. 2008.
28. Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И. Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке // Сварочное производство. 2006. № 8. С. 27–32.
29. Покляцкий А. Г., Лозовская А. Г., Гринюк А. А. Предотвращение образования оксидных плен в швах при сварке литийсодержащих алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 45–48.
30. Покляцкий А. Г., Ищенко А. Я., Яровская М. Р. Прочность соединений тонколистовых алюминиевых сплавов, полученных сваркой трением с перемешиванием // Автоматическая сварка. 2007. № 9. С. 50–53.

31. Рабкин Д. М., Игнатьев Д. М., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев: Изд-во "Наукова думка", 1983. – 80 с.
32. Сизова О. В. Разрушение стыковых соединений алюминиево-магниевого сплава, выполненных способом сварки трением с перемешиванием // Обработка металлов. № 3. 2014. С. 14–20.
33. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.
34. Способ сварки : пат. № 2191665 Рос. Федерация : МПК В 23 К 9/09 / А. Ф. Князьков, В. Т. Федько, А. Г. Крампит [и др.]; заявл. 28.11.2000 ; опубл. 27.10.2002, Бюл. № 30. 6 с.
35. Чайников К. Н. Общее устройство судов: учеб. для судостроител. техникумов. Л. : Судостроение, 1971. 207 с.
36. Щицын Ю. Д., Синани И. Л., Белинин Д. С., Неулыбин С. Д. Совершенствование технологий плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и сложнолегированных сплавов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 427–431.
37. Ambriz R.R., Jaramillo D. Mechanical Behavior of Precipitation Hardened Aluminum Alloys Welds // InTech. 2014. P. 35–58.
38. Ji L., Shen X., Xiao X. A review of mid-frequency vibro-acoustic modelling for highspeed train extruded aluminium panels as well as the most recent developments in hybrid modelling techniques // J. Mod. Transport. 2015. P 159–168.
39. Kawasaki T., Yamaguchi T., Mochida T. Numerical analysis and quasi-static compression test on energy absorption structure made of aluminium alloys for railway vehicle // Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers. 2008. №. 7. P. 154–161.
40. Lebedev V. A., Maksimov S. Yu. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda

Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.

41. Wu C. S., Wang L., Ren W. J., Zhang X. Y. Plasma arc welding: Process, sensing, control and modeling // Journal of Manufacturing Processes. 2014. № 16. P. 74–85.

42. Xie G., Thompson D. J., Jones S. C. A modeling approach for the vibroacoustic behavior of the aluminium extrusions used in railway vehicles // Journal of Sound and Vibration. 2006. . vol. 293. P. 921–932.