

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)

«Оборудование и технология сварочного производства»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления корпуса железнодорожного вагона из алюминиевого сплава

Студент

А.А. Фирстов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Выгодные физические и химические свойства алюминиевых сплавов позволяют расширять область их применения на вагоностроение. 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 работе предложены мероприятия по внедрению роботизированной плазменной точечной сварки, которая позволит заменить контактную точечную сварку с применением подвесных клещей. Контактная точечная сварка, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением дефектов, исправление которых требует затрат времени, электрической энергии и сварочных материалов.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,7 млн. рублей.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при сварке грузовых и пассажирских железнодорожных вагонов из алюминиевых сплавов.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Technological process of manufacturing the body of a railway car made of aluminum alloy».

The graduation work consists of an explanatory note on 69 pages, introduction, including 22 figures, 15 tables, the list of 31 references including 4 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is improving the efficiency of welding operations in the manufacture of railway car body made of aluminum alloys.

The favorable physical and chemical properties of aluminum alloys allow expanding the scope of their application in car building. Aluminum alloys allow you to obtain the necessary structural strength with a relatively small specific weight, increase the corrosion resistance of the structure and its ability to absorb vibrations, noise, vibration and energy in the event of emergency situations.

The paper proposes measures for the introduction of robotic plasma spot welding, which will replace contact spot welding with the use of hanging tongs. Contact spot welding, used as a basic technology, has a low productivity and is accompanied by the production of defects, the correction of which requires time, electrical energy and welding materials.

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 0,7 million rubles.

The results of the final qualification work are recommended for use in the production of welding of freight and passenger railway cars made of aluminum alloys.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Анализ применения сварки при изготовлении подвижного состава из алюминиевых сплавов. . . . .	8
1.1 Описание конструкции изделия. . . . .	8
1.2 Сведения о материале изделия. . . . .	11
1.3 Анализ способов сварки, применяющихся при изготовлении корпусов вагонов из алюминиевых сплавов. . . . .	14
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы . . . . .	24
2 Проектная технология сварки корпусов железнодорожных вагонов . . . . .	26
2.1 Оборудование для плазменной точечной сварки алюминиевых сплавов . . . . .	26
2.2 Технологические основы сварки трёхфазной дугой . . . . .	28
2.3 Модернизация сварочного оборудования . . . . .	30
2.4 Описание средства автоматизации сварочных операций. . . . .	33
2.5 Проектная технология выполнения сварочных операций при изготовлении корпуса вагона. . . . .	36
Заключение по второму разделу. . . . .	37
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений . . . . .	38
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	38
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений . . . . .	39
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков . . . . .	40
3.4 Обеспечение пожарной безопасности . . . . .	40
3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта . . . . .	42
3.6 Заключение по разделу . . . . .	43

4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений	44
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов . .	44
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	46
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	47
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	51
4.6 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам . . . . .	58
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений . . . . .	62
Заключение по экономическому разделу . . . . .	64
Заключение . . . . .	65
Список используемой литературы . . . . .	66

## Введение

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 сложной технической системой, содержащей множество подсистем: механическую, электро-теплотехническую и др.

В настоящее время алюминиевые сплавы становятся наиболее востребованным конструкционным материалом, по распространению и внедрению приближающимся к сталям [1]. Выгодные физические и химические свойства алюминиевых сплавов позволяют расширять область их применения на кораблестроение [2], вагоностроение [3...6]. 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.

Основные преимущества пассажирских вагонов из алюминиевого сплава: 1) высокая устойчивость к коррозии; 2) снижение веса вагона увеличивает скорость и маневренность поезда; 3) увеличивается грузоподъемность и объем кузова; 4) за счет снижения массы вагона поезд может перевозить большее количество пассажиров, добавляются дополнительные вагоны, а расход электроэнергии и топлива остается прежним или даже меньше.

Соединение алюминия сваркой плавлением при строительстве алюминиевых конструкций встречает множество затруднений, в числе которых: значительные остаточные напряжения и деформации, пористость и

горячие трещины. Если же соединение алюминиевых деталей производить сваркой в твёрдой фазе (сварка давлением), то этих трудностей можно избежать. Однако существующие способы сварки давлением (сварка взрывом, контактная сварка, диффузионная сварка, ультразвуковая сварка, магнитно-импульсная сварка) имеют ограниченное применение.

В мире накоплен значительный опыт в области применения алюминиевых сплавов в вагоностроении [8...11]. 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 [7].

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.

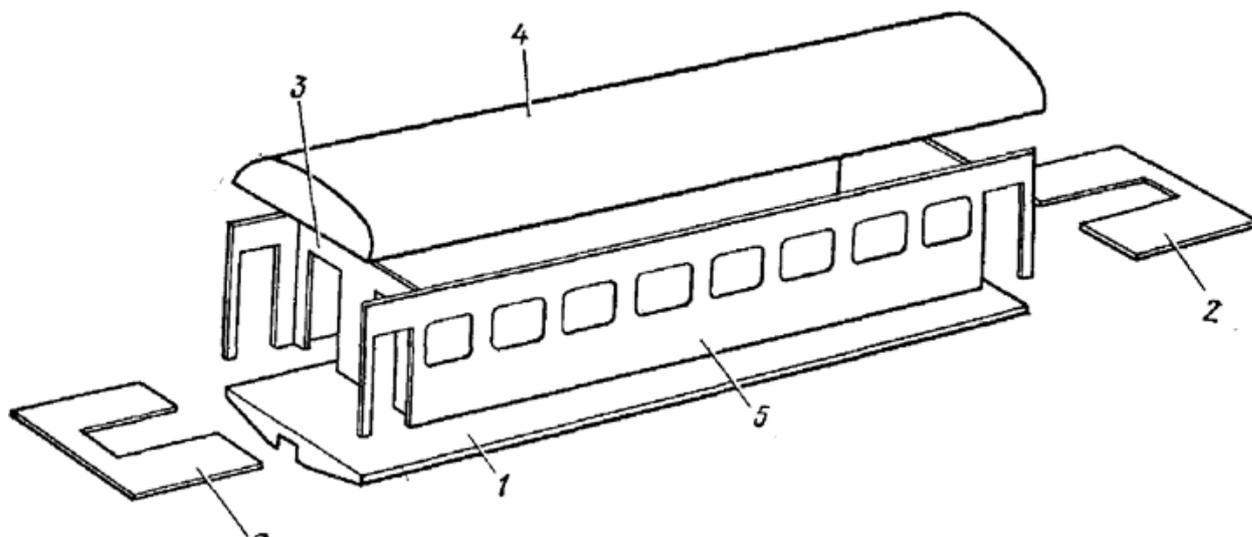
В связи с этим актуальной является тема выпускной квалификационной работы, которая направлена на достижение цели – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении корпуса железнодорожного вагона из алюминиевых сплавов.

# 1 Анализ применения сварки при изготовлении подвижного состава из алюминиевых сплавов

## 1.1 Описание конструкции изделия

Способ промышленного производства алюминия был предложен французским учёным Анри Этьеном Сент-Клер Девилом в 1854 году. А буквально через несколько лет, в 1894 году железнодорожная компания «Haven and Hartford Railroad» освоила выпуск первых пассажирских алюминиевых вагонов [12].

Корпус пассажирского вагона представляет из себя замкнутую конструкцию, включающую в себя пол 1, который является несущей опорой для всех остальных блоков вагона, внешней 2 и внутренней 3 торцевых перегородок, боковых панелей 5 и крыши 4 (рис. 1.1). Все эти элементы подкрепляются элементами жесткости для создания прочной и надежной конструкции, способной выдерживать высокие инерциальные нагрузки.



1 – несущая рама; 2 – торцевые стенки; 3 – тамбурные перегородки;  
4 – крыша; 5 – боковые стены

Рисунок 1.1 – Схема комплектации частей кузова вагона

Каркас кузова вагона ЭС1 «Ласточка» изготовлен из закрытых алюминиевых экструдированных профилей. Конструкция этого вагона создана с целью обеспечения максимально возможной пассажировместимости, и соответственно на большую нагрузку и увеличенные габариты корпуса. В связи с этим, для облегчения самой конструкции, используется материал в качестве основного алюминий.

Как показала практика использования алюминиевого подвижного состава на железных дорогах мира, наибольшей перспективностью обладает применение алюминиевых сплавов не в пассажирском, а грузовом вагоностроении [13], что позволяет максимально снизить вес конструкции и увеличить массу перевозимых грузов. Первый алюминиевый грузовой вагон-хоппер был выпущен в 1931 году в США.

С начала 1960-х годов алюминиевые сплавы стали преобладать над сталями при производстве грузовых вагонов [13]. На сегодняшний день в США эксплуатируется около 500 тыс. алюминиевых вагонов, что составляет порядка 60 % от парка грузовых вагонов [14] (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Алюминиевые полувагоны для перевозки угля

В настоящий момент в России не налажено серийное производство отечественных грузовых вагонов из алюминиевых сплавов. Общественности представлены только отдельные опытные либо выставочные образцы (рисунок 1.3). В данное время российскими железнодорожниками выполняется подконтрольная эксплуатация небольшой партии алюминиевых грузовых вагонов [15].

Наибольшее распространение и положительные отзывы получил полувагон из алюминиевого сплава производства НПО «УВЗ» (рис. 1.4). Это универсальный четырёхосный полувагоны, проектирование которого было выполнено по габариту 0-ВМ. Такой вагон может быть использован для транспортировки крупнокусовых, сыпучих, и штучных грузов, которые не требуется защищать от воздействия атмосферных осадков. Корпус такого полувагона цельнометаллический.



*а)*



*б)*



*в)*



*г)*

*а* – полувагон (НПО «УВЗ», 2003 г.); *б* – полувагон (ВАСО, 2005 г.); *в* – вагон-хоппер («Рузмаш», 2016 г.); *г* – вагон-хоппер (Тихвинский вагоностроительный завод 2016 г.)

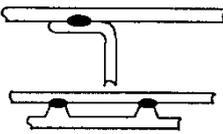
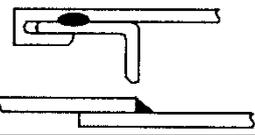
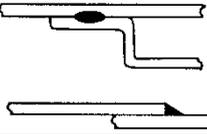
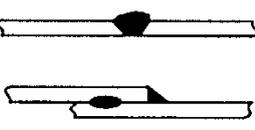
Рисунок 1.3 – Российские грузовые вагоны, корпус которых выполнен из алюминиевых сплавов



Рисунок 1.4 – Полувагон производства НПО «УВЗ»

При производстве вагонов из алюминиевых сплавов применяются соединения согласно табл. 1.1

Таблица 1.1 – Типы соединений при изготовлении вагонов из алюминиевых сплавов

Сплав	Толщина, мм	Основной тип соединения	Способ сварки
АМг2, 1523	3...8		Контактная точечная, дуговая
АМг2, АД37, АМг4, 1523, 1535	2...8		Точечная дуговая, аргонодуговая
АМг2, АМг4, АД37, 1523, 1535	5...10		Точечная дуговая, аргонодуговая
АМг4, АМг6, АД37, 1535, 1545, 1570	4...10		Точечная дуговая, ручная дуговая, автоматическая аргонодуговая

## 1.2 Сведения о материале изделия

Для изготовления корпусов железнодорожных вагонов из алюминиевых сплавов могут быть применены различные сплавы на основе алюминия (табл. 1.2).

Сварка алюминиевых сплавов встречает трудности, которые обусловлены свойствами алюминиевых сплавов (высокая теплопроводность, образование оксидной плёнки и т.д.):

1) на поверхности алюминиевых деталей присутствует и дополнительно образуется при нагреве тугоплавкий окисл  $Al_2O_3$ , температура которого ( $T_{пл} = 2050\text{ }^\circ\text{C}$ ) превышает температуру плавления алюминия, а плотность больше чем плотность расплавленного алюминия. Это приводит к

загрязнению металла шва окислами (которые тонут в расплавленном металле) и существенно затрудняет сплавление кромок.

Таблица 1.2 – Механические свойства алюминиевых сплавов, применяемых в вагоностроении [14, 16]

Наименование сплава	Минимальное значение предела прочности, МПа	Минимальное значение предела текучести, МПа	Минимальное значение относительного удлинения, %	Оценка коррозионной стойкости
1970	520	490	11	Низкая
ВАЛ16	315	180	10	Высокая
ВАЛ14	500	450	8	Низкая
АМцМ	135	50	23	Высокая
АМг1М	170	80	25	
АМг2М	195	100	24	
АМг4М	255	150	22	
АМг6М	340	180	20	Средняя
1515	260	220	15	Высокая
1525	310	250	15	
1535	340	280	18	
1545	380	290	16	
АК6	420	300	13	Низкая
1570	420	310	15	Высокая
1960	560	470	10	
АВТ	220	120	22	
АВМ	120	80	30	
АД33	285	225	14	
АД37	290	230	20	
1419	360	300	16	

2) нагрев алюминиевых сплавов до высоких температур вызывает их катастрофическую потерю прочности, в результате чего сварочная ванна «проваливается» под собственным весом, происходит вытекание алюминия через корень шва или зазор.

3) алюминиевые сплавы имеют большой коэффициент линейного расширения и низкий модуль упругости, в результате этого при сварке алюминиевых сплавов наблюдаются повышенные деформации и коробление конструкции.

4) при сварке конструкций из алюминиевых сплавов следует выполнять химическую очистку сварочной проволоки самым тщательным образом. Кроме того, следует проводить механическую очистку и обезжиривание кромок свариваемых изделий.

5) При сварке конструкций из алюминиевых сплавов происходит интенсивное растворение газов в нагретом жидком металле. При остывании и кристаллизации расплавленного металла происходит их задержка в сварочной ванне, в результате чего получается интенсивная пористость, снижение прочностных и пластических свойств металла сварного шва.

6) Металл сварного шва имеет грубую столбчатую структуру, по границам зёрен выделяется легкоплавкая эвтектика. В результате этого при сварке конструкций из алюминиевых сплавов возникают трещины.

7) алюминиевые сплавы имеют высокий коэффициент линейной усадки, в результате этого при сварке конструкций из алюминиевых сплавов возникают значительные усадочные напряжения.

Описанные металлургические проблемы возникают при всех способах сварки конструкций из алюминиевых сплавов. Использование источников нагрева с высокой концентрацией энергии существенно снижает остроты описанных проблем, так как в этом случае вложение тепла в изделие начинает носить более локальный характер, существенно уменьшается зона термического влияния.

Если используются источники нагрева с концентрированной энергией (плазменная сварка, лазерная сварка, сварка трёхфазной дугой), то влияние наличия окисной пленки на поверхностях изделия на качество сварки существенно снижается.

При сварке конструкций из алюминиевых сплавов с применением традиционных способов механические свойства металла сварного шва приблизительно на 20...35 % меньше, чем у основного металла. Значительное влияние на уровень свойств оказывает металлургическое состояние основного материала.

Для изготовления корпуса экспериментального полувагона применён сплав АМг6М, имеющий химический состав (табл. 1.3), который позволяет получить хорошую свариваемость и коррозионную стойкость.

Таблица 1.3 – Химический состав сплава АМг6М, %

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

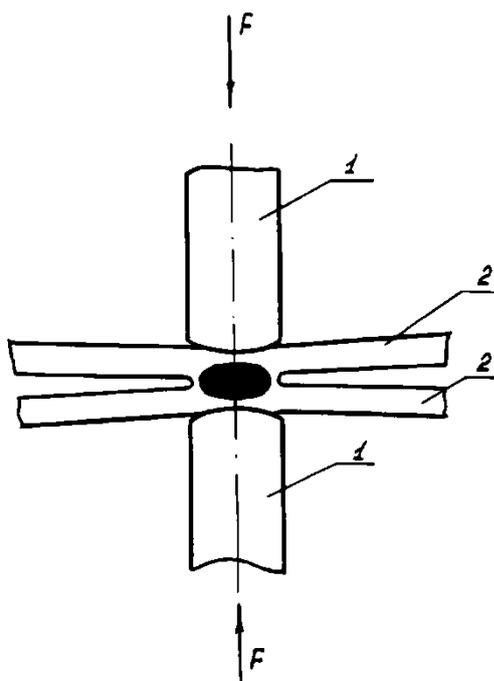
### **1.3 Анализ способов сварки, применяющихся при изготовлении корпусов вагонов из алюминиевых сплавов**

Для сварки алюминиевых сплавов 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.

При точечной контактной сварке используется нахлесточное соединение (рис. 1.5). 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.

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/мм<sup>2</sup>. Это вызывает снижение сварочного тока до 2800 А/мм<sup>2</sup>. 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.



1 – сварочные электроды; 2 – свариваемые детали

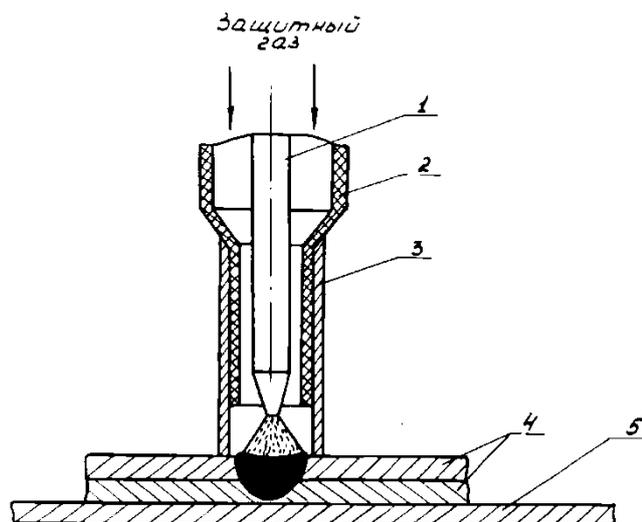
Рисунок 1.5 – Схема процесса контактной точечной сварки

Дуговая точечная сварка имеет более широкие технологические возможности по сравнению с контактной точечной сваркой. Этим способом производят сварку на монтаже при значительном удалении сварочного инструмента от источника питания; не требуется двустороннего подхода к соединению и значительных сжимающих усилий между свариваемыми деталями. Дуговые способы сварки электрозаклепками делятся на способы с использованием плавящегося и неплавящегося электрода. Сварка плавящимся электродом в инертном газе выполняется, как правило, на постоянном токе обратной полярности. Такой род тока способствует удалению окисной пленки, получивший название "катодного" распыления. Способ сварки отличается высокой производительностью, но требования

подготовки поверхности деталей и сварочной проволоки являются обязательным условием получения качественного соединения.

Дуговая точечная сварка неплавящимся электродом (рис. 1.6) постоянным и переменным током весьма перспективный способ, который нашел применение при сварке алюминия и его сплавов. 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 электрозаклепками открытой дугой (рис. 1.6) 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 электрозаклепка, 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.

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.



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

Рисунок 1.6 – Схема сварки электрозащелками открытой дугой

Основной трудностью при сварке алюминиевых сплавов отдельными точками является наличие тугоплавкой окисной пленки  $Al_2O_3$ . Она отрицательно влияет на процесс сварки и качество сварного соединения. Пленку окислов на алюминии до сварки полностью устранить невозможно, так как на воздухе она снова мгновенно окисляется. Вновь образующаяся после очистки пленка имеет значительно меньшую и равномерную толщину.

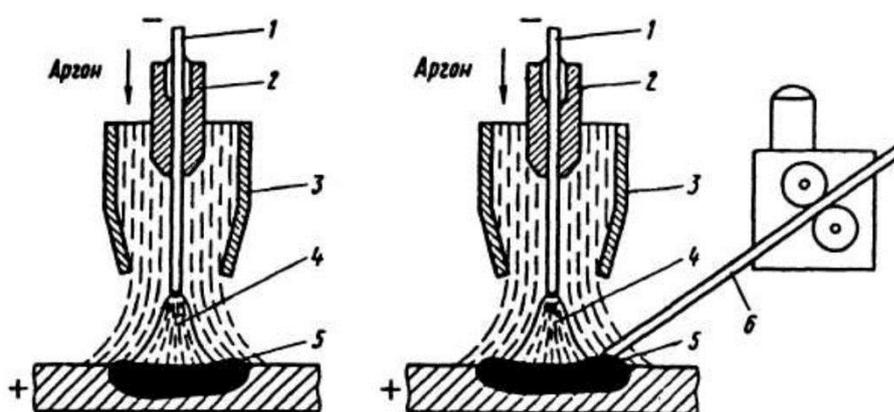
Пленка окислов является также основной причиной пористости сварных швов. Удаление окисной пленки - процесс трудоемкий и технологически сложный. Для неответственных и крупногабаритных конструкций очистка производится ручными или приводными металлическими щетками.

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  $40...70^{\circ}C$ . При высокой производительности процесса контактной точечной сварки предварительная подготовка поверхности

сводит к минимуму преимущества данного способа. Кроме того, большие габариты и вес машин контактной сварки, их малая маневренность сдерживают применение данного способа.

При сварке с применением неплавящихся электродов в средах инертных газов дуга нагревается и расплавляет металл в зоне обработки. Инертный газ подается из газового сопла, он выполняет функцию зачистки сварочной ванны и электрода от атмосферы. В качестве газа применяются аргон, гелий или их различные смеси. При этом электрод выполняется из тугоплавкого материала, и располагается в центре газового сопла. Материал присадки подается в зону обработки непосредственно вручную. Питание дуги происходит за счет источника переменного тока, он же обеспечивает разрушение оксидных пленок.

Сварка неплавящимся электродом в инертном газе (TIG-сварка, Tungsten Inert Gas) начала активно развиваться с 60-х годов XX века, когда активное развитие получили авиационная и космическая техники. В данный момент сварка неплавящимся электродом в инертных газах позволяет получать соединения, удовлетворяющие самым высоким требованиям по качеству. Благодаря этому она широко распространена при ремонте и изготовлении деталей из алюминиевых сплавов.



1 – электрод; 2 – зажим электрода; 3 – сопло; 4 – дуга;  
5 – сварочная ванна; 6 – присадочный стержень

Рисунок 1.7 – Схема сварки неплавящимся электродом

В числе преимуществ TIG-сварки следует отметить: хороший внешний вид сварных соединений; высокое качество сварного шва; возможность регулирования процента наплавленного металла; малое термическое воздействие на изделие.

В качестве недостатков TIG-сварки следует отметить: малая производительность сварки; высокие требования к квалификации сварщиков; необходимость тщательной очистки присадочной проволоки и изделия.

Альтернативой ручной аргодуговой сварке неплавящимся электродом является механизированная сварка плавящимся электродом в среде инертных газов.

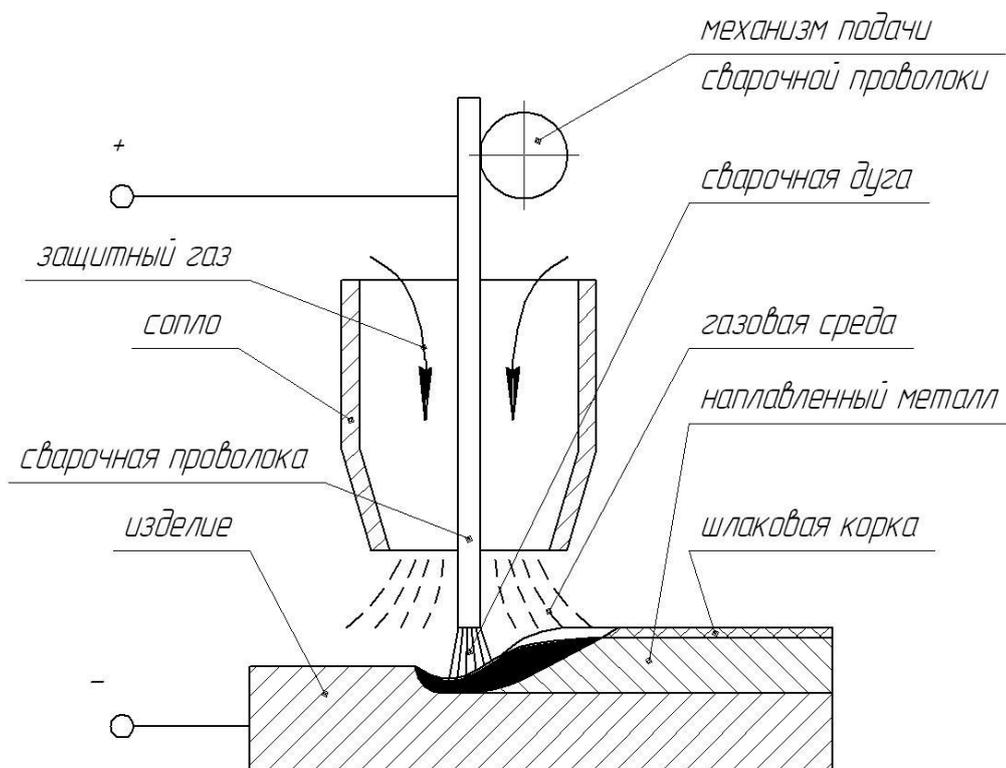


Рисунок 1.8 – Схема механизированной сварки с применением плавящегося электрода в среде инертного газа

Основным недостатком этого способа является большая вероятность образования пор в сварных швах. Этот недостаток устраняется при использовании способа импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Этот способ сварки обеспечивает струйный перенос

металла в широком диапазоне режимов сварки, что обеспечивает отсутствие разбрызгивания и хорошее формирование сварных швов. При сварке импульсной дугой по сравнению со сваркой стационарной дугой значительно уменьшается пористость металла шва, несколько возрастает прочность сварных соединений.

Механизированная сварка легких сплавов проволокой сплошного сечения может быть выполнена с применением специальных импульсных источников. Формируемый в таких источниках питания импульс высокого напряжения разрушает оксидную пленку на поверхности алюминиевых деталей. Управляемое горение дуги позволяет стабилизировать перенос электродного металла, который проходит все необходимые стадии: плавление, формирование капли, переход капли на основной металл, кристаллизация. За счёт управления ванной расплава можно получить высокую стабильность качество сварных соединений. Импульсное управление горением сварочной дуги и переносом электродного металла позволяет существенно уменьшить разбрызгивание, повысить стабильность при возбуждении и горении дуги, существенно уменьшить сварочные напряжения и деформации, существенно повысить эксплуатационные свойства сварных соединений и наплавленных деталей.

Способ сварки трением в твердой фазе (рис. 1.9) был предложен Британским институтом сварки (TWI) в начале 90-х годов 20-го века. В отечественной литературе сварка трением (Friction Stir Welding, FSW) получила название «сварка трением с перемешиванием» (СТП). В ряде промышленно развитых стран (страны Европы, США, Китай, Япония) этот способ получил широкое распространение. Основные преимущества этого способа по отношению к другим способам сварки: повышение производительности; низкий уровень остаточных напряжений и деформаций при выполнении протяженных швов; высокие механические и прочностные свойства соединений при испытаниях на изгиб, растяжение, действии статических, динамических и ударных нагрузок; высокая стабильность

качества получаемых соединений; существенное упрощение подготовительных операций. Также следует отметить отсутствие вредного ультрафиолетового излучения при сварке, полное устранение горячих трещин и пористости при сварке алюминиевых сплавов, отсутствие необходимости применения присадочного материала, отсутствие потерь на угар и разбрызгивание, отсутствие необходимости зачистки брызг металла и шлака [17...20].

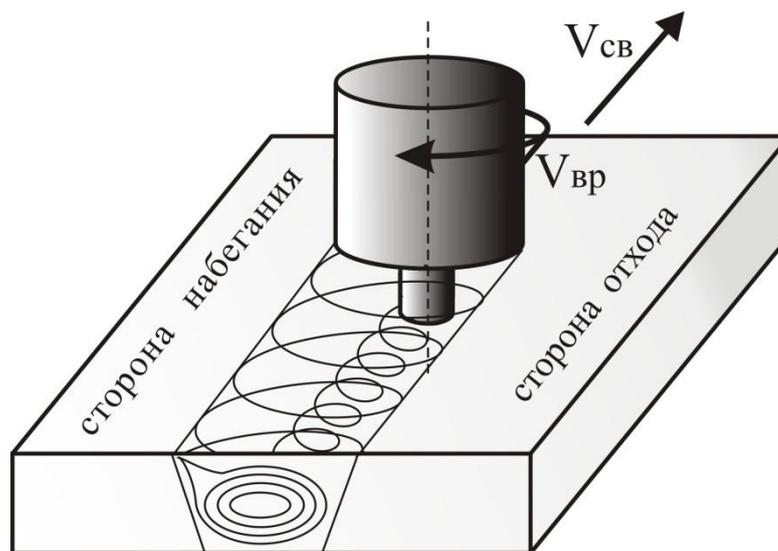


Рисунок 1.9 – Сущность сварки трением с перемешиванием



Рисунок 1.10 – Алюминиевые котлы вагона-цистерны, выполненные с применением ротационной сварки трением

Применение сварки трением с перемешиванием позволяет получить ряд преимуществ перед дуговой сваркой:

- качество сварных соединений очень высокое и стабильное;
- сварное соединение обладает высокой прочностью, соизмеримой с прочностью основного металла;
- процесс сварки трением с перемешиванием имеет высокую производительность;
- при сварке трением с перемешиванием появляется возможность получения соединений металлов и сплавов, которые трудно сварить с применением традиционных способов сварки;
- существенно уменьшаются остаточные напряжения и деформации в сварных конструкциях, что особенно важно при выполнении протяжённых швов;
- существенно упрощаются требования к проведению подготовительных работ перед сваркой;
- существенно уменьшается масса конструкции, так как не требуется получения усиления шва.

С 1960-х годов одним из направлений развития дуговой наплавки стало совершенствование плазменно-дуговых способов. За короткий период решены сложные научно-технические вопросы, создано оборудование и производственная технология. Плазменная сварка (сварка сжатой дугой) выполняется на постоянном токе обратной полярности. Применение сжатой дуги позволяет достигнуть высокой плотности тока в столбе дуги, увеличить концентрацию энергии. Это в свою очередь даёт возможность существенно повысить скорость сварки, уменьшить размеры зоны термического влияния и деформации конструкции.

Горение сжатой дуги более устойчиво по сравнению со сваркой обычной дугой в защитных газах, качество сварки стабильно при колебаниях длины дуги.

Особенностями сварки сжатой дугой являются:

- повышение температуры горения дуги;
- уменьшение диаметра столба дуги;
- дуга принимает цилиндрическую форму, в то время, как при сварке несжатой дугой она принимает коническую форму;
- в 6...10 раз увеличивается давление дуги на металл;
- появляется возможность горения дуги при малых токах, составляющих 0,2...30 А.

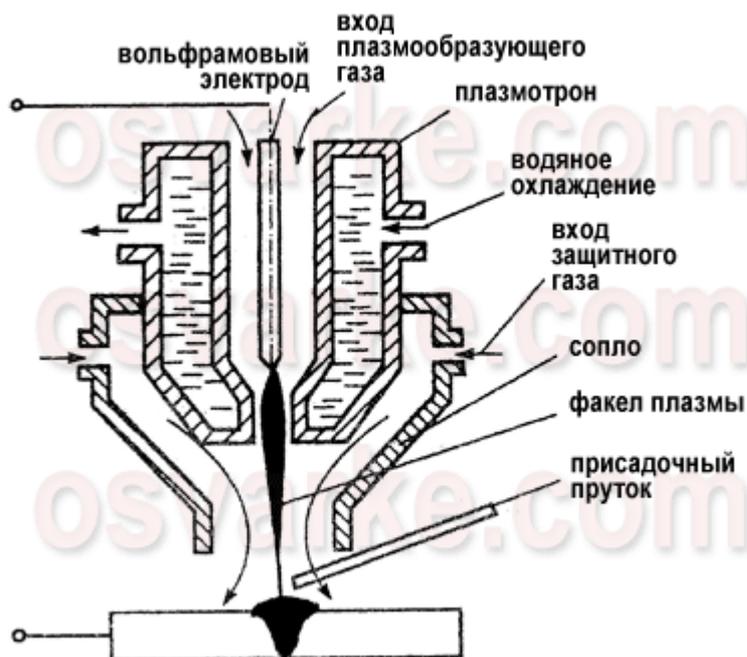


Рисунок 1.11 – Схема плазменной сварки

Дальнейшее развитие TIG-сварка получила в виде трёхфазной сварки неплавящимся электродом [21, 22]. Сварка трёхфазной дугой использует два вольфрамовых электрода, к каждому из которых от трехфазного источника питания подводится переменный ток, третья фаза подключается к изделию. При этом происходит одновременное горение трёх дуг. Две дуги горят между электродами и изделием, а третья дуга – независимая и горит между электродами. Такая схема позволяет получить высокую устойчивость и производительность процесса сварки и наплавки.

Трёхфазная дуга (рис. 1.12) позволяет регулировать вложение тепла в основной металл. Увеличение глубины проплавления происходит при

последовательном включении сварочных электродов. Уменьшение глубины проплавления и увеличение ширины шва происходит при параллельном подключении электродов.

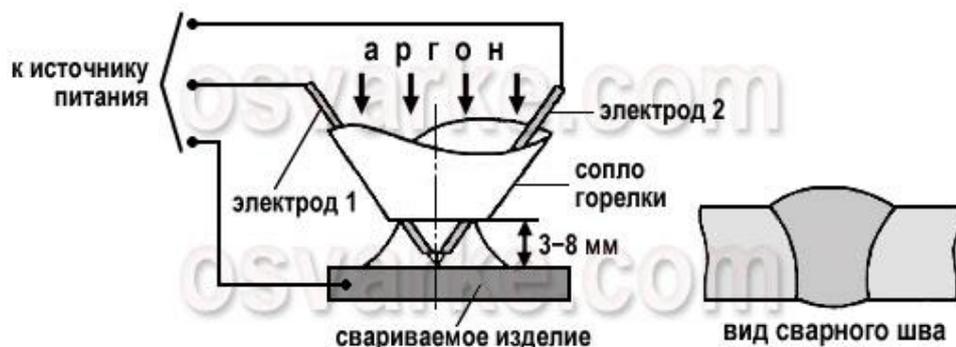


Рисунок 1.12 – Схема сварки трёхфазной дугой

Преимуществами сварки трёхфазной дугой являются: высокая производительность, высокая проплавливающая способность дуги; интенсивное катодное распыление оксидных плёнок на поверхности изделий из алюминиевых сплавов. В качестве недостатков можно отметить необходимость обеспечения высокого качества подготовки присадочной проволоки и большую массу сварочной горелки.

#### 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении корпуса железнодорожного вагона из алюминиевых сплавов.

При анализе возможных способов сварки, которые могут быть применены при изготовлении корпусов вагонов из алюминиевого сплава, были рассмотрены: 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 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.

В рамках выпускной квалификационной работы более подробно рассмотрим именно трёхфазную сварку сжатой дугой, для чего сформулируем задачи:

- 1) повысить эффективность точечной сварки трёхфазной сжатой дугой применительно к рассматриваемому изделию;
- 2) предложить оборудование для точечной сварки трёхфазной сжатой дугой;
- 3) предложить средства автоматизации технологического процесса сварки при изготовлении корпусов железнодорожных вагонов;
- 4) составить технологический процесс выполнения сварки при изготовлении корпусов железнодорожных вагонов.

## **2 Проектная технология сварки корпусов железнодорожных вагонов**

### **2.1 Оборудование для плазменной точечной сварки алюминиевых сплавов**

На кафедре сварки Тольяттинского политехнического института разработаны технология и оборудование для точечной сварки алюминиевых сплавов сжатой трехфазной дугой с использованием в качестве плазмообразующего газа аргона [23]. Это обусловлено рядом преимуществ трехфазной дуги перед другими источниками теплоты. Регулирование процесса сварки большим числом параметров позволяет активно влиять на поведение расплавленного металла сварной точки. Совместная модуляция сварочного тока и расхода плазмообразующего газа не только сокращает по времени сварочный цикл, но и предотвращает образование кратера в центре точки. Диаметр сварной точки при сварке можно изменять в широких пределах, что позволяет получать равнопрочные швы с различным шагом точек. При этом производительность такой сварки близка к производительности контактной точечной сварки.

Наличие независимой дуги между не плавящимися электродами плазмотрона обуславливает легкость возбуждения рабочих дуг и высокую их устойчивость без каких-либо дополнительных устройств. Кроме того, исключается химическое травление и зачистка соединяемых поверхностей. Повышенное силовое воздействие сжатой трех фазной дуги на сварочную ванну способствует выведению оксидных плен на поверхность сварной точки и их разрушению. Установка типа УДГТ состоит из источника питания сжатой трехфазной дуги, включающего в себя блок управления циклом сварки; сварочных клещей с ручным или пневматическим приводом либо сварочного пистолета с установленным на них двух электродным трехфазным плазмотроном специальной конструкции. В ее состав входят

также баллон с аргоном и газовый редуктор с ротаметром. Для управления расходом плазмообразующего газа установка имеет газовые клапаны и игольчатые вентили. Она обеспечивает четыре режима работы: возбуждение независимой дуги, режим ожидания, цикл сварки точки и выключение независимой дуги. Автоматическое возбуждение независимой дуги осуществляется при помощи осциллятора, расположенного в источнике питания. Время включения осциллятора ограничено. Расход аргона при возбуждении независимой дуги и в режиме ожидания минимален.

Цикл сварки точки обеспечивается путем управления током сварки, расходом газа и усилием сжатия сварочных клещей.

Разработаны установки двух типоразмеров: УДГТ-51 и УДГТ-301 (табл. 2.1, рис. 2.1).

Таблица 2.1 – Технические характеристики сварочного оборудования

	УДГТ-51	УДГТ-301
Толщина свариваемых листов, мм	0,5-2	1-4
Производительность, точек/мин	40	30
Потребляемая мощность (в режиме ожидания), кВт	2,5 (0,35)	7 (0,88)
Масса установки, кг	220	420
Габаритные размеры, мм	550x800x1000	700x1300x1500
Масса сварочных клещей с плазмотроном, кг	2,7	4,2

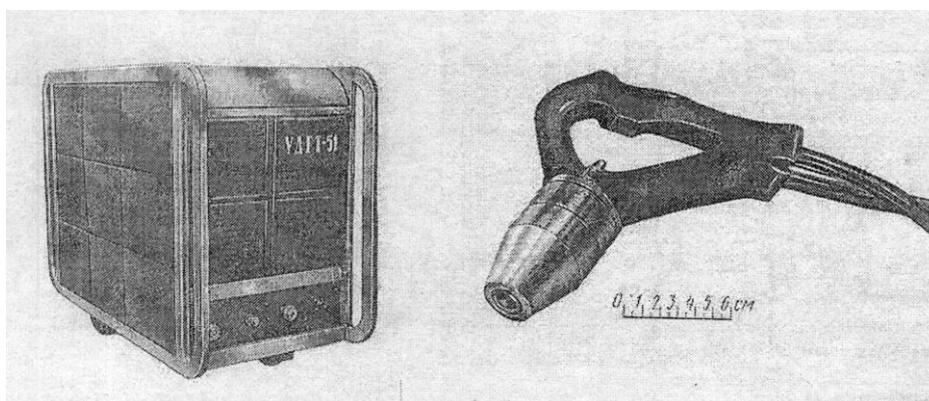
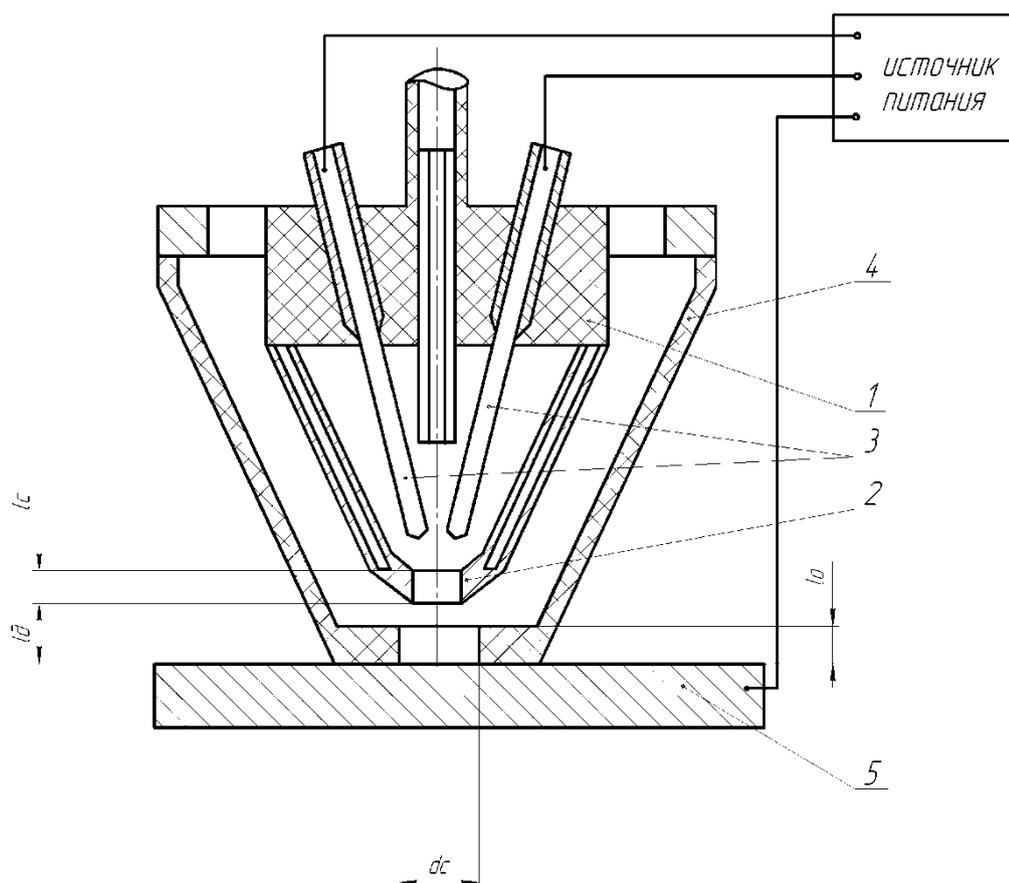


Рисунок 2.1 – Источник питания и сварочный пистолет для точечной плазменной сварки

## 2.2 Технологические основы сварки трёхфазной дугой

В сварочной технике в течение продолжительного времени в области применения свободных дуг переменного тока более устойчивой зарекомендовала себя трехфазная дуга. Поэтому вполне естественно при создании плазменной техники переменного тока обратиться к возможностям этой дуги.

Трёхфазная сварочная дуга представляет систему трех дуг, питаемых от трехфазной сети, которые прерывисто горят между электродами в определенной последовательности. В настоящее время трехфазная дуга наиболее часто используется для сварки алюминиевых сплавов неплавящимися электродами (рис. 2.2).



1 – корпус; 2 – сопло; 3 – электроды;  
4 – опорное сопло; 5 – свариваемые элементы

Рисунок 2.2 – Схема трехфазного плазмодугового аппарата

Дугу между электродами принято называть независимой, а дуги между электродами и изделием - зависимыми дугами. Из-за невозможности существования на небольшой поверхности стержневого электрода одновременно катодного и анодного пятен, в каждый момент времени горит не более двух дуг. При смене полярности в электродах или изделии горит одна дуга.

Режим трехфазной дуги характеризуется шестью параметрами:

- действующее значение тока в изделии  $I_d$ ;
- действующее значение тока в первом электроде  $I_A$ ;
- действующее значение тока в первом электроде  $I_C$ ;
- напряжение на независимой (межэлектродной) дуге  $U_{дн}$ ;
- напряжения на зависимых дугах первый электрод-изделие и второй электрод-изделие  $U_{дз}$ .

Формирование сварной точки в данном случае происходит в следующей последовательности [24, 25, 26]. На начальном этапе начинается плавление верхней детали (рис. 2.3, *а*). Затем верхняя деталь проплавляется полностью (рис. 2.3, *б*).

За счет давления дуги сварочная ванна углубляется на всю толщину листа (рис. 2.3, *в*), после чего происходит разрыв жидкой перемычки в нижней части сварочной ванны и начинается плавление нижней детали. Расплавленный металл верхней детали за счет действия сил поверхностного натяжения формирует тор (рис. 2.3, *г*). По мере дальнейшего расплавления нижней детали (рис. 2.3, *д*), далее происходит объединение расплавленного металла верхней детали и нижней (рис. 2.3, *е*).

В процессе дальнейшего нагрева и увеличения объема сварочной ванны происходит сквозное проплавление нижней детали, образуется ванна с параметрами  $D_B$  и  $D_H$  (рис. 2.4).

Если источник тепла продолжает свое действие, ванна углубляется, (рис. 2.5, *а*) и может образоваться торообразная сварочная ванна - с получением прожога (рис. 2.5, *б*).

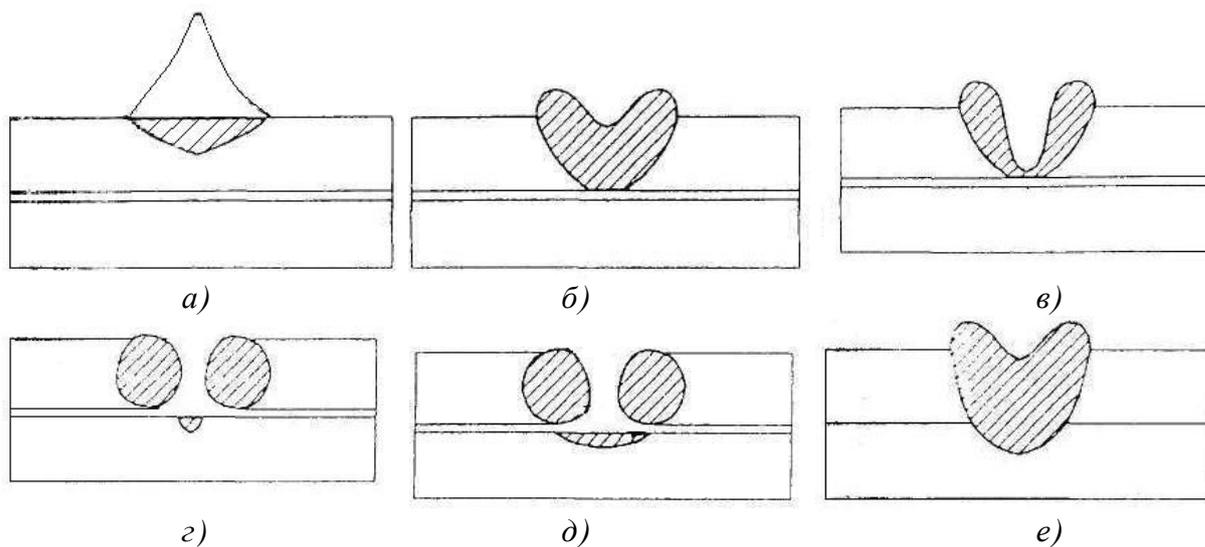


Рисунок 2.3 – Этапы плавления деталей при плазменной точечной сварке

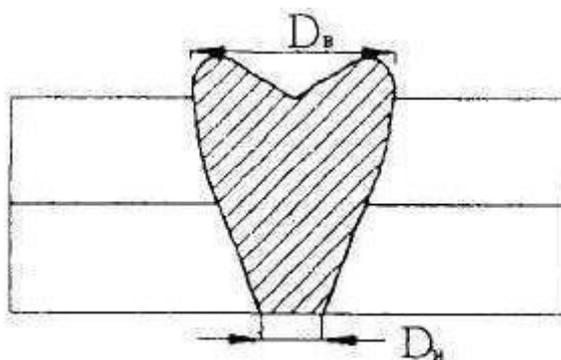


Рисунок 2.4 – Конечный процесс формирования соединения

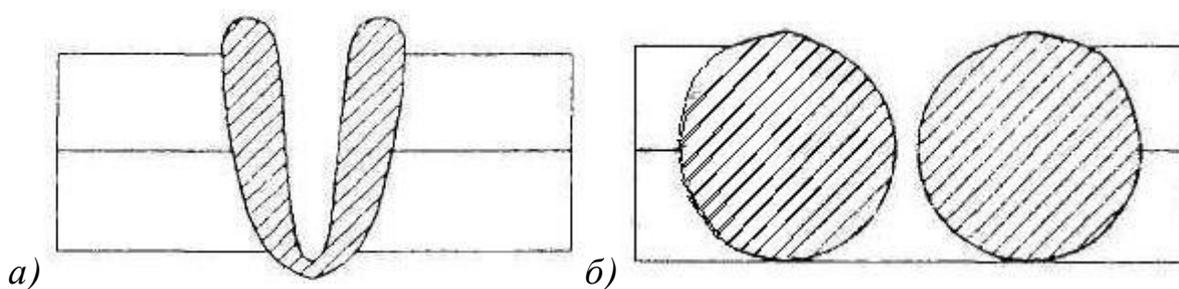


Рисунок 2.5 – Прожог при точечной сварке

### 2.3 Модернизация сварочного оборудования

Для реализации разработанного технологического процесса необходимо ввести источник питания и плазматрон. Источник питания

должен обеспечивать надежное зажигание дуги, ее устойчивое горение и иметь возможность настройки требуемого режима сварки.

Анализ выпускаемых промышленностью источников питания показал, что промышленностью не выпускается удовлетворяющий нас источник питания. Предложено использовать для комплектации робото-технического комплекса источник питания УДГТ - 150У2 разработанный в Тольяттинском политехническом институте.

Установка типа УДГТ - 150У2 (рис. 2.6) предназначена для автоматической точечной сварки сжатой трёхфазной дугой неплавящимися вольфрамовыми электродами в среде защитных газов алюминиевых сплавов толщиной не более 5 мм. Установка работает в импульсном режиме.

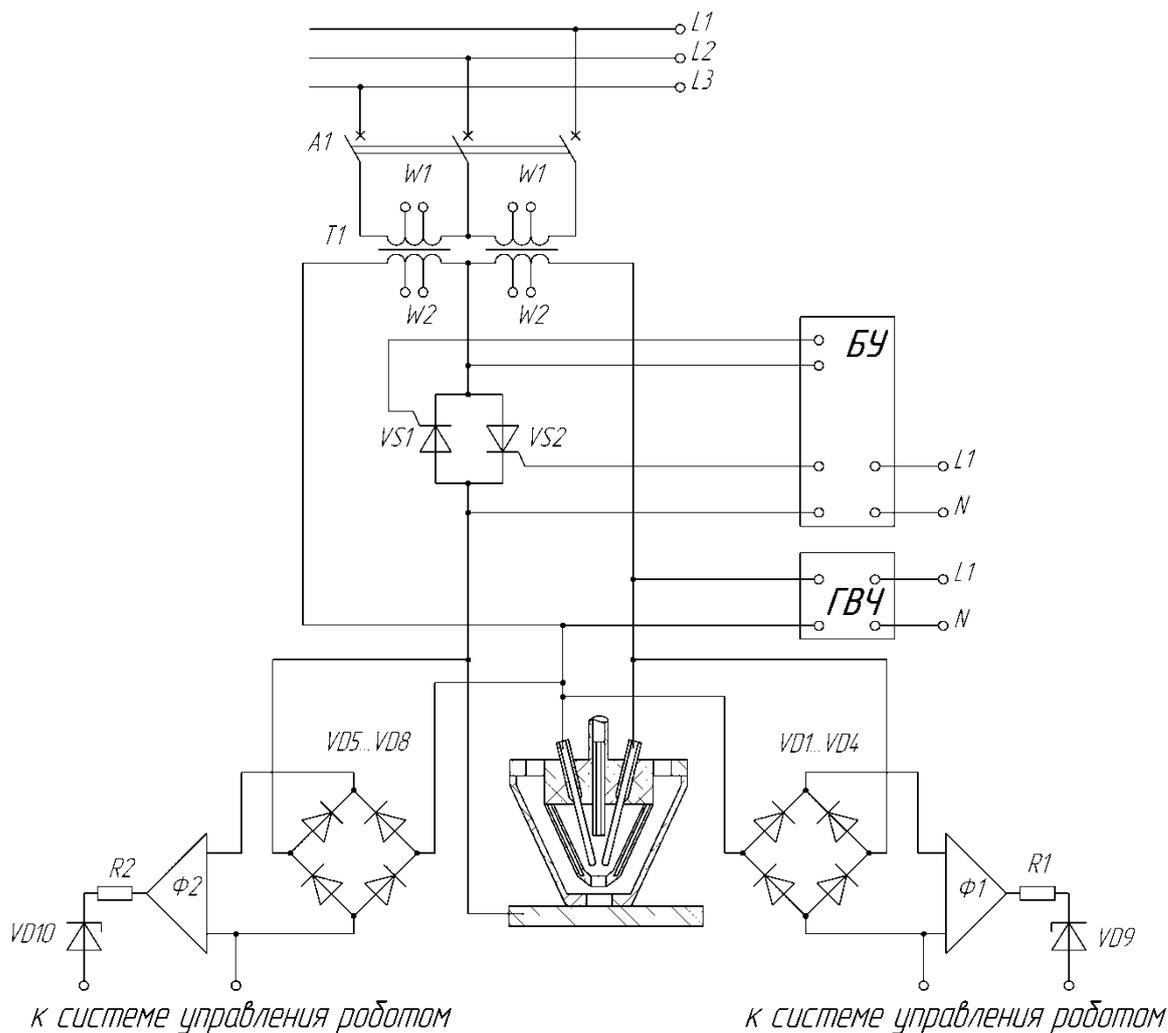


Рисунок 2.6 – Принципиальная схема сварочной установки

Выделим в схеме установки отдельные узлы:

- силовой блок (сварочные трансформаторы Т1 и Т2);
- схема управления током БУ;
- блок начального возбуждения дуги – осциллятор ГВЧ;
- прерыватели тока VS1, VS2;
- цепи контроля загорания дуги.

Сварочные трансформаторы Т1, Т2 с разнесёнными обмотками, которые по первичной и по вторичной сторонам включены по схеме открытого треугольника, образуют силовой блок (рис. 2.7, а). В сварочной цепи при выбранной схеме включения обмоток устанавливаются соотношения тока  $I_a = I_b$ ,  $I_c = \sqrt{3} \times I_a$  А.

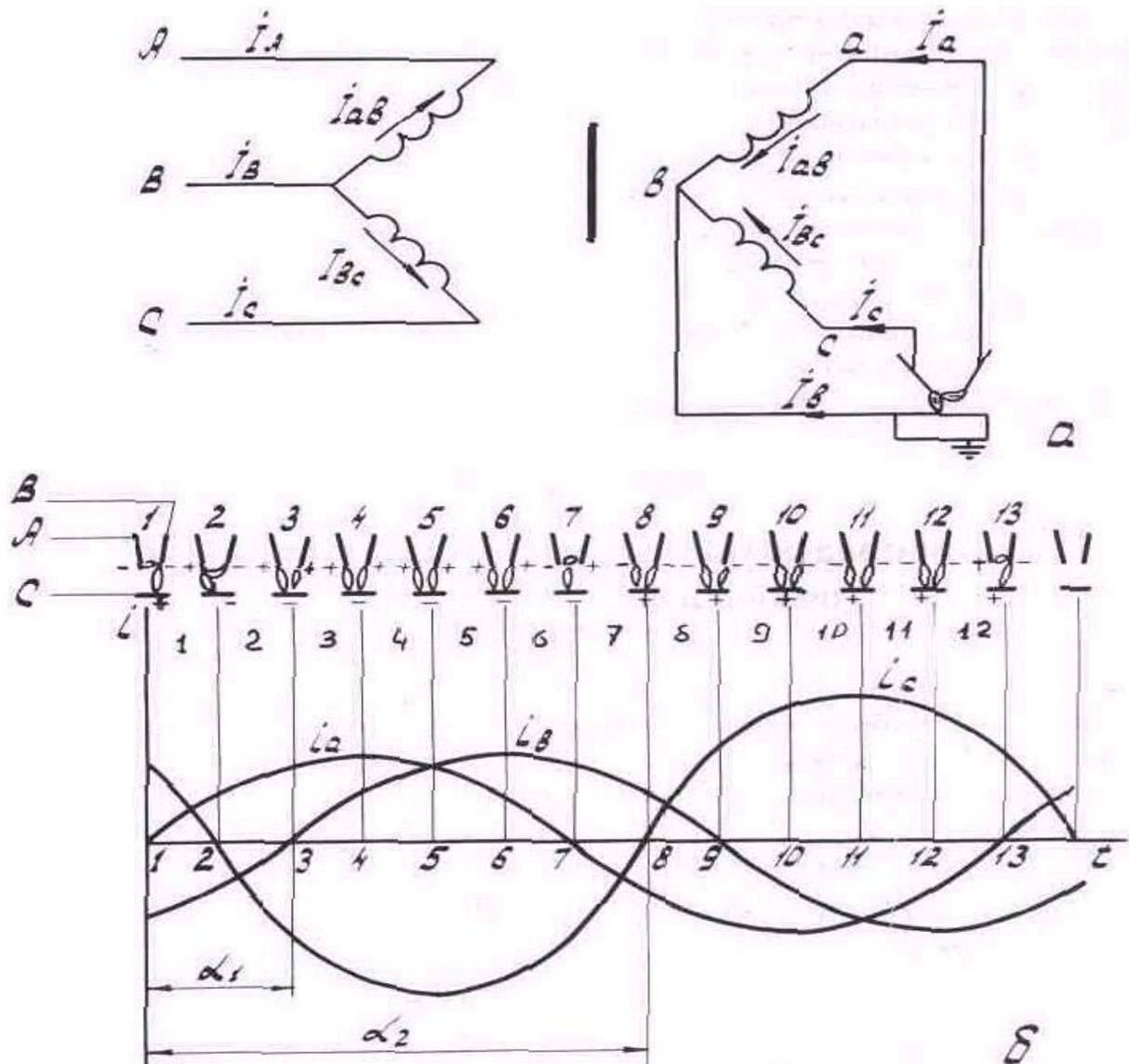


Рисунок 2.7 – Схема включения обмоток (а) и горение дуги (б)

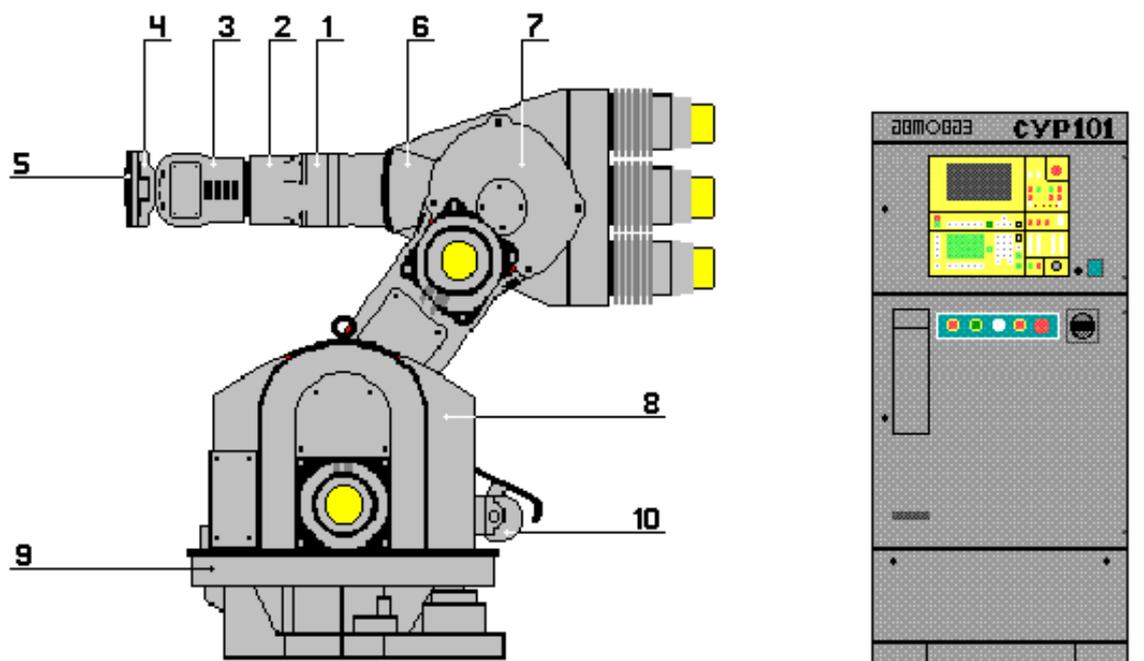
Схема управления включает в себя: формирователь импульсов, для управления работой прерывателя на тиристорах VS1, VS2, включены в среднюю фазу; триггер на полупроводниковых элементах, регулирующий длительность импульса тока.

Стабилизация повторных возбуждений дуги происходит без дополнительных устройств, так как при сварке трёхфазной дугой в каждый момент времени горят две дуги: W – A1 и W – W или W – A1, W – A1. Межэлектродная дуга W – W «берёт» на себя функции стабилизатора дуги (рис. 2.7, б).

Блок контроля загорания дуги предназначен для измерения напряжения между электродами сварочной горелки, он включает в себя выпрямительные мосты VD1...VD4 и VD5...VD8, которые формируют импульс прямоугольной формы, который подаётся на формирователи импульса Ф1 и Ф2. Выходные стабилитроны обеспечивают повышение порога срабатывания до нужного уровня. Если дуга между электродами не загорается, то это приводит к повышению напряжения между ними до напряжения холостого хода, что в свою очередь приводит к получению сигнала на выходах формирователей Ф1 и Ф2, который улавливается блоком управления и заставляет повторно включаться осциллятор ГВЧ (генератор высокой частоты), который заново возбуждает горение дуги.

## **2.4 Описание средства автоматизации сварочных операций**

Для автоматизации сварочных операций применим промышленный робот IR – 161/15 – шестиосный промышленный робот для установки в любых положениях. Робот относится к серии IR100 и предназначается для выполнения всех задач позиционного и контурного управления. Основные области применения робота – точечная и электродуговая сварки, обработка, манипулирование, сборка. Система робота IR 161/15 состоит из механической части и системы управления (рис. 2.8).



- 1 – блок передачи оси A4; 2 – опора оси A4; 3 – блок передачи оси A5; 4 – опора оси A6;  
 5 – место крепления инструмента; 6 – основание руки; 7 – коромысло; 8 – карусель;  
 9 – базисное основание; 10 – узел уравнивания.

Рисунок 2.8 – Промышленный сварочный робот IR 161/15:

Основные технические данные робота:

- 1) Повторная точность:  $\leq 0,2$  мм;
- 2) Приводная система: электромеханическая с двигателями постоянного тока транзисторного управления;
- 3) Вес: около 760 кг;
- 4) Уровень шумов:  $< 70$  дБ;
- 5) Положение установки: робот может быть установлен в любом положении (вертикальном, горизонтальном, потолочном);
- 6) Число осей робота: 6;
- 7) Грузоподъемность: 15 кг.
- 8) Дополнительная полезная нагрузка: на руке робота без уменьшения грузоподъемности предусматривается возможность размещения дополнительных полезных нагрузок (например – сварочный трансформатор)

весом до 50 кг, при этом в некоторых случаях требуется увеличение давления системы (узла уравнивания).

9) Максимальная нагрузка: 60 кг.

Таблица 2.2 – Данные осей робота

Ось	Угол поворота	Скорость град/мин
1	320°	136°
2	129°	97°
3	270°	148°
4	360°	187°
5	240°	182°
6	240°	182°

Основные данные системы управления:

Тип: RC 20/41;

Номинальное напряжение питания: 380, 415, 440, 500, 550 В, род тока – переменный, напряжение трехфазное. Номинальная присоединяемая мощность: 5,9 кВА при 40 % ПВ.

Среднее потребление мощности: 0,8 кВт;

Частота сети: 50 Гц, 60 Гц;

Вес: около 600 кг;

Охлаждение: часть охлаждения – один теплообменник, два вентилятора, силовая часть – два теплообменника, четыре вентилятора.



Рисунок 2.9 – Роботизированная сварка корпусов вагонов

## **2.5 Проектная технология выполнения сварочных операций при изготовлении корпуса вагона**

Подготовку поверхности металла под сварку выполняют двумя основными способами: механической и химической обработкой. В данном проекте применим химическую очистку. Химические способы подготовки особенно эффективны в крупносерийном и массовом производстве ответственных деталей, поскольку они позволяют получить чистые и малоактивные поверхности с низким значением контактных сопротивлений практически для всех металлов и сплавов. Химическая обработка поверхности деталей проводится в соответствии с производственной инструкцией и технологической документацией, которые регламентируют последовательность операций, состав растворов, их температуру и продолжительность каждой операции.

Перед началом работы (в начале смены) наладчик сварочного оборудования должен проверить в источнике питания плазмотрона: состояние электрических проводов и контактов; соответствие напряжения сети напряжению, указанному на маркировке источника питания; подключение источника питания к источнику плазмообразующего газа.

Затем соединяют с источником питания плазмотрон, для этого подключают по порядку: подвод газа; вставку штепсельного разъема провода управления к колодке. Источник питания подключен к сети переменного тока  $3 \times 380$  В через автоматические выключатели. Для подачи напряжения на все устройства установки ручку автоматического выключателя устанавливают в положение "включено". Подают газ и на источнике питания с помощью регулятора давления устанавливают давление газа 0,4 МПа. На источнике питания по указателю с помощью резистора регулирования рабочего тока устанавливают требуемую силу тока.

После сборки выполняется сварка точки, при этом приняты следующие параметры процесса:

- сила тока дуги 140...170 А;
- расход газа  $G=0,1\pm 0,02$  г/с;
- время сварки 1,8...2,0 с.

После сварки 1 точки робот отводит деталь, перемещает до контакта с местом сварки следующей точки и по указанным параметрам производит сварку оставшихся точек.

Контроль качества сварки производят на 100% изделий. Контролируемое изделие проверяется в специальном кондукторе на соответствие геометрии, после чего, производится контроль 10% сварных точек с использованием ультразвукового дефектоскопа теневым методом.

Изделие не прошедшее контроль бракуется, партия, сваренная после предыдущего контроля проходит дополнительный контроль, и в случае несоответствия требованиям на изделие забраковывается, брак изолируется.

### **Заключение по второму разделу**

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы были выполнены следующие работы: 1) повысить эффективность точечной сварки трёхфазной сжатой дугой применительно к рассматриваемому изделию; 2) предложить оборудование для точечной сварки трёхфазной сжатой дугой; 3) предложить средства автоматизации технологического процесса сварки при изготовлении корпусов железнодорожных вагонов; 4) составить технологический процесс выполнения сварки при изготовлении корпусов железнодорожных вагонов.

Дальнейшая работа над выполнением выпускной квалификационной работы предполагает выполнение оценочного блока: определение мер экологической безопасности и экономической эффективности предложенных решений.

### 3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

#### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки корпусов грузовых и пассажирских железнодорожных вагонов. В проектном варианте сварочной технологии предлагается применять плазменную точечную сварку. Внедрение нового способа сварки приводит к появлению опасных и вредных факторов производства.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1. Подготовительная операция	Электрогазосварщик	Щётка металлическая, сборочное приспособление	Раствор едкого натра 5%, вода техническая, азотная кислота 15%, воздух сжатый
2. Сборочная операция	Слесарь-сборщик	Приспособление для осуществления сборки под сварку	Воздух сжатый
3. Сварочная операция	Электрогазосварщик	Стенд для выполнения автоматизированной ротационной сварки трением с перемешиванием	Инденторы (сменные пальцы)
4. Выходной контроль	Контролер основного производства	Аппарат ультразвукового контроля	Масло

## 3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
1. Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Зачистная металлическая щётка, острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку
2. Сборочная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку
3. Сварочная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> </ul>	Стенд для выполнения роботизированной плазменной точечной сварки
4. Выходной контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования</li> <li>- повышенный уровень ультразвуковых излучений в рабочей зоне</li> </ul>	Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку, аппарат ультразвукового контроля

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1. Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку	Предостерегающие надписи, соответствующая окраска, ограждения	-
3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление электрических машин. Периодический контроль изоляции.	-
5. Повышенный уровень ультразвуковых излучений в рабочей зоне	Экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне.	-

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка призваны обеспечить защиту от пожара работников предприятия, а также имущество предприятия. Согласно классификации пожаров по виду горючего материала и учетом производственной ситуации следует классифицировать возможный пожар как пожар класса Е: горение веществ и материалов под напряжением электрического тока. В таблице 3.4 выполним анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Таблица 3.4 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок сварки	Стенд для автоматической сварки, аппарат рентгеновского контроля РАП 90У-5	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация	вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; термохимические воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей при пожаре

Таблица 3.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-80	Пожарные автомобили (вызываются)	'	'	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 3.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сборка, сварка, контроль	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу	Воздействие технического объекта на гидросферу	Воздействие технического объекта на литосферу
Сварка	Подготовка, сборка, сварка	газообразные частицы; сажа	Масло	упаковка от проволоки бумажная и полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Ремонтная сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
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.

### **3.6 Заключение по разделу**

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

## 4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

### 4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки при изготовлении корпусов железнодорожных вагонов. В работе предложены мероприятия по внедрению роботизированной плазменной точечной сварки, которая позволит заменить контактную точечную сварку с применением подвесных клещей. Контактная точечная сварка, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением дефектов, исправление которых требует затрат времени, электрической энергии и сварочных материалов. Проектный вариант предполагает существенно уменьшить трудовые затраты и повысить качество сварки.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	$P_p$		V	V
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	30	30
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м <sup>2</sup>	200	200
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса: - подвесные сварочные клещи - сварочный комплекс	Цоб	Руб.	300000 -	- 1500000
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3

## Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	100	300
Принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	4,7	4,7
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа сварочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены в часах;

$D_p$  – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$  – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$  – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в предпраздничный день;

$K_{см}$  – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

Расчёт эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_3 = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_3 = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

### **4.3 Расчет штучного времени**

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (4.3)$$

где  $t_{шт}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{МАШ}}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{ВСП}}$  – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{ВСП}} = 10\%$  от  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{ОБСЛ}}$  – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{ОБСЛ}} = 5\%$  от  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{ОТЛ}}$  – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{ОТЛ}} = 5\%$  от  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{П-З}}$  – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{П-З}} = 1\%$  от  $t_{\text{МАШ}}$ .

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{\text{шт.баз}} = 1,65 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 1,0 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,2 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{Г} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где  $F_{\text{Э}}$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время в часах, которое затрачивает работник на один стык трубопровода по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{Г.\text{баз.}} = 2054/2 = 1027 \text{ вагонов за год};$$

$$П_{Г.\text{проектн.}} = 2054/1,2 = 1711 \text{ вагонов за год}.$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы  $П_{Г}=600$  вагонов в год.

Требуемое в этом случае количество сварочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot П_{Г}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}}, \quad (4.5)$$

где  $П_{Г}$  – годовая программа – принятое ранее количество стыков трубопровода, которые необходимо сварить за один календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Fэ$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{вн}$  – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{2 \cdot 600}{2054 \cdot 1,03} = 0,57$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{1,2 \cdot 600}{2054 \cdot 1,03} = 0,34$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$Kз = n_{расч}/n_{пр} \quad (4.6)$$

где  $n_{расч}$  – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{пр}$  – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{зб} = 0,57/1 = 0,57$$

$$K_{зп} = 0,34/1 = 0,34$$

#### **4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки**

При сварке изделия применяются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает применение контактной точечной сварки. Проектная технология ремонтной сварки предусматривает применение плазменной точечной сварки. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле с учётом количества сварных точек на одном вагоне:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{т-з}, \quad (4.7)$$

где  $C_m$  – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{т-з}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_b = 262 \text{ руб.}$$

$$M_{пр} = 393 \text{ руб.}$$

Объем фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы  $Z_{осн}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$ .

Объём  $Z_{\text{осн}}$  основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (2.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 752 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 1,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 451 \text{ руб.}$$

Объём  $Z_{\text{доп}}$  дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 752 \cdot 12/100 = 90 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 451 \cdot 12/100 = 54 \text{ рублей}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 752 + 90 = 842 \text{ рублей}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 451 + 54 = 505 \text{ рублей}$$

Объём  $O_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{\text{сн}} = \Phi\text{ЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100, \quad (4.10)$$

где  $K_{\text{сн}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$O_{\text{сс}_{\text{баз.}}} = 842 \cdot 34 / 100 = 286 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс}_{\text{проектн.}}} = 505 \cdot 34 / 100 = 172 \text{ руб.}$$

Объём  $Z_{\text{об}}$  финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э-э}}, \quad (4.11)$$

где  $A_{\text{об}}$  – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{\text{э-э}}$  – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100} \quad (4.12)$$

где  $C_{\text{об}}$  – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

$N_{\text{а}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{\text{МАШ}}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_3$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{1 \cdot 300000 \cdot 21,5 \cdot 2}{2054 \cdot 100} = 63 \text{ рублей,}$$

$$A_{об.пр} = \frac{1500000 \cdot 21,5 \cdot 1,2}{2054 \cdot 100} = 188 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{\text{маш}} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где  $M_{уст}$  – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Ц_{э-э}$  – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{30 \cdot 2 \cdot 4,7}{0,7} = 402 \text{ рублей,}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{40 \cdot 1,2 \cdot 4,7}{0,85} = 265 \text{ рублей,}$$

$$\text{Зоб}_{\text{баз.}} = 63 + 402 = 465 \text{ руб.},$$

$$\text{Зоб}_{\text{проектн.}} = 188 + 265 = 453 \text{ руб.}$$

Финансовые потери на амортизацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{пл}} \cdot Na_{\text{пл}} \cdot S \cdot t_{\text{шт.}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}, \quad (4.14)$$

где  $Na_{\text{пл}}$  – принятое значение нормы амортизации площади;

$C_{\text{пл}}$  – цена приобретения площадей.

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{\text{плб}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 200 \cdot 2}{2054 \cdot 100} = 350, \quad A_{\text{плпр}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 200 \cdot 1,2}{2054 \cdot 100} = 210$$

Финансовые потери на эксплуатацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$P_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{экспл}} \cdot S \cdot t_{\text{шт.}}}{F_{\text{э}}}, \quad (4.15)$$

где  $C_{\text{экспл}}$  – расходы на содержание площадей

$S$  – площадь, занятая под оборудование.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{ПЛБ} = \frac{2000 \cdot 200 \cdot 2}{2054} = 389, \quad P_{ПЛБ} = \frac{2000 \cdot 200 \cdot 1,2}{2054} = 234$$

Финансовые потери на эксплуатацию и содержание площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$З_{ПЛ} = P_{ПЛ} + A_{ПЛ}, \quad (4.16)$$

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$З_{ПЛБаз.} = 350 + 389 = 739 \text{ руб.}, \quad З_{ПЛПроектн.} = 210 + 234 = 444 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{тех}$  показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{ТЕХ} = M + ФЗП + Осс + З_{Об} + З_{ПЛ} \quad (4.17)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{ТЕХБаз.} = 262 + 842 + 286 + 465 + 739 = 2594 \text{ руб.}$$

$$C_{ТЕХПроектн.} = 393 + 505 + 172 + 453 + 444 = 1967 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{цех}$  показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + З_{ОСН} \cdot K_{ЦЕХ} \quad (4.18)$$

где  $K_{ЦЕХ}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{ЦЕХБаз.} = 2594 + 1,5 \cdot 752 = 2594 + 1128 = 3722 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 1967 + 1,5 \cdot 451 = 1967 + 677 = 2644 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{\text{зав}}$  показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{зав}} \quad (4.19)$$

где  $K_{\text{зав}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{завБаз.}} = 3722 + 1,15 \cdot 752 = 3722 + 865 = 4587 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{завПроектн.}} = 2644 + 1,15 \cdot 451 = 2644 + 519 = 3163 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	262	393
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	842	505
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	286	172
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	465	453
5. Объём финансовых затрат на технологические площади	Зпл	739	444
6. Величина технологической себестоимости	Стех	2594	1967
7. Объём цеховых расходов	Рцех	1128	677
8. Величина цеховой себестоимости	Сцех	3722	2644
9. Объём заводских расходов	Рзав	865	519
10. Величина заводской себестоимости	$C_{\text{зав}}$	4587	3163

#### 4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение  $K_{\text{общ}}$  капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{3.Б.}, \quad (4.20)$$

где  $K_3$  – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$  –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

$n$  – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину  $Ц_{\text{ОБ.Б}}$  остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Ц_{\text{ОБ.Б}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.21)$$

где  $Ц_{\text{ПЕРВ.}}$  – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$T_{\text{СЛ}}$  – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

$N_A$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.20) и (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 300000 - (300000 \cdot 2 \cdot 21,5/100) = 171000 \text{ рублей,}$$

$$\text{К}_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 171000 \cdot 0,57 = 97470 \text{ рублей}$$

Величину  $\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}}$  общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}} = \text{К}_{\text{ОБ.ПР}} + \text{К}_{\text{ПЛ.ПР}} + \text{К}_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.22)$$

где  $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$\text{К}_{\text{ПЛ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$\text{К}_{\text{СОП.ПР}}$  – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём  $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$  капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБ.ПР}} = \text{Ц}_{\text{ОБ.ПР}} \cdot \text{К}_{\text{Т.З}} \cdot \text{К}_{\text{ЗБ}}. \quad (4.23)$$

После подстановки в формулу (2.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{К}_{\text{ОБ.ПР}} = 1500000 \cdot 1,05 \cdot 0,34 = 535500 \text{ руб.}$$

Объём  $K_{\text{СОП}}$  сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.24)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты  $K_{\text{ДЕМ}}$  на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = \text{Ц}_Б \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.25)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

Затраты  $K_{\text{МОН}}$  на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = \text{Ц}_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.26)$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 1500000 \cdot 0,05 = 75000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП}} = 15000 + 75000 = 90000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 535500 + 90000 = 625500 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{\text{ДОП}}$  дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.}}$$
 (4.27)

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 625500 - 97470 = 528030 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{\text{УД}}$  удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{P_{\Gamma}},$$
 (4.28)

где  $P_{\Gamma}$  – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{УДБаз.}} = 97470/600 = 162 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{УДПроектн.}} = 625500/600 = 1043 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Расчётное определение показателей экономической и эффективности предлагаемых решений

Снижение  $\Delta t$  трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{2 - 1,2}{2} \cdot 100\% = 40\%$$

Повышение  $\Pi_T$  производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 40}{100 - 40} = 67\%$$

Снижение  $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$  технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{2594 - 1967}{2594} \cdot 100\% = 24\%$$

Условно-годовую экономию  $\text{Пр}_{\text{ож}}$  (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \cdot \quad (4.32)$$

После подстановки в формулу (4.32) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (4587 - 3163) \cdot 600 = 854400 \text{ руб.}$$

Срок  $T_{\text{ок}}$  окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \cdot \quad (4.33)$$

После подстановки в формулу (4.33) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{\text{ок}} = \frac{528030}{854400} = 0,6$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$  в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.34)$$

После подстановки в формулу (4.34) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Эг} = 854400 - 0,33 \cdot 528030 = 680150 \text{ руб.}$$

### **Заключение по экономическому разделу**

Базовый вариант технологии сварки с применением контактной точечной сварки подвесными клещами сопровождается получением дефектов и необходимостью переварки места ремонта. В проектном варианте технологии предложено использовать плазменную точечную сварку. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 40 %, увеличивается производительность труда на 67 %, уменьшается технологическая себестоимость на 24 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 0,9 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,7 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,6 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении корпуса железнодорожного вагона из алюминиевых сплавов.

При анализе возможных способов сварки, которые могут быть применены при изготовлении корпусов вагонов из алюминиевого сплава, были рассмотрены: 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.

В работе предложены мероприятия по внедрению роботизированной плазменной точечной сварки, которая позволит заменить контактную точечную сварку с применением подвесных клещей. Контактная точечная сварка, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением дефектов, исправление которых требует затрат времени, электрической энергии и сварочных материалов.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,7 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при сварке грузовых и пассажирских железнодорожных вагонов из алюминиевых сплавов.

## Список используемой литературы

- 1) Митяев, А. А. Производство и применение алюминиевых сплавов в транс-портном машиностроении / А. А. Митяев, С. Б. Беликов, И. П. Волчок // Вісн. двигунобудування. – 2006. – № 1. – С. 155–158.
- 2) Чайников, К. Н. Общее устройство судов: учеб. для судостроител. техникумов / К. Н. Чайников. – Л.: Судостроение, 1971. – 207 с.
- 3) Гиньяр, Р. Новые вагоны с кондиционированием воздуха для междугородного сообщения Швейцарских федеральных железных дорог / Р. Гиньяр // «Chemins de Fer», 1976. – № 317, С. 50–75.
- 4) Кардини, Е. Высокоскоростной подвижной состав железных дорог Италии / Е. Кардини [и др.] // Железные дороги мира, 1989. – № 11. – С. 14–19.
- 5) Ноэль, И Новые материалы для вагонов метрополитена / И. Ноэль // Железные дороги мира, 1990. – № 1. – С. 16.
- 6) Бинневис, Х. Разработка скоростного поезда ICE // Железные дороги мира, 1984. – № 3. – С. 10–15.
- 7) Жуков, А. С. Отработка методики исследования прочности вагонных конструкций из алюминиевых сплавов / Жуков А. С. // Вестник РГУПС, 2016. – № 1 (61). – С. 43–50.
- 8) 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, Series A, Vol. 74, No. 737, pp. 154–161 (2008).
- 9) S. W. Kallee, J. Davenport «Trends in design and fabrication of rolling stock», European Railway Review, Issue 1, pp. 75–79 (2007).
- 10) Ohba, H., Ueda, C., Agatsuma, K., «Innovative Vehicle – the “A-train”», Hitachi Review, Vol. 50, No. 4, pp. 130–133 (2001).

11) Xie, G., Thompson, D. J., Jones, S. J. C.: A modeling approach for the vibroacoustic behavior of the aluminium extrusions used in railway vehicles, *Journal of Sound and Vibration*, 293, pp. 921–932 (2006).

12) Киселев, И. П. Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов. Часть 2 / И. П. Киселев // *Железные дороги мира*, 2006. – № 1. – С. 18–41.

13) Велти, Г. Новые материалы в конструкции грузовых вагонов / Г. Велти // *Железные дороги мира*, 1982. – № 3. – С. 14–19.

14) Конюхов, А. Д. Кузова грузовых вагонов из алюминиевых сплавов / А. Д. Конюхов, А. М. Дриц // *Железнодорожный транспорт* – М.: РЖД, 2016. – № 2, С. 67–69.

15) Горбунов, Ю. А. Применение изделий из алюминиевых сплавов при производстве и ремонте наземного и водного транспорта в РФ / Ю. А. Горбунов // *Технология лёгких сплавов*, 2015. – № 1. – С. 87–92.

16) Конюхов, А. Д. Алюминиевые сплавы и нержавеющие стали в конструкциях кузовов железнодорожного подвижного состава с целью обеспечения их коррозионной стойкости и конструкционных характеристик / А. Д. Конюхов, А. К. Шуртаков, Т. Н. Воробьева // *Технология лёгких сплавов*, М.: Всероссийский институт легких сплавов, 2010. – № 3. – С. 87–94.

17) Лебедев, В.К. Сварка трением: Справочник / В.К. Лебедев, И.А. Черненко, Р. Михальски [и др.] – Л.: Машиностроение, 1987. – 236 с.

18) Сергеева, Е.В. Сварка трением с перемешиванием в авиакосмической промышленности / Е.В. Сергеева // *Автоматическая сварка*. – 2013. – № 5. – С. 58–62.

19) Ищенко, А.Я. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов / А.Я. Ищенко [и др.] // *Автоматическая сварка*. – 2007. – № 11. – С. 32–38.

20) Овчинников, В.В. Сварка трением с перемешиванием / В.В. Овчинников // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – С. 136–140.

21) Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография / Г.М. Короткова. – Тольятти : ТГУ, 2009.- 335с.

22) Ельцов, В.В. Объект исследований — трехфазная сварочная дуга / В.В. Ельцов // Сборник трудов к 40-летию кафедры ОТСП и 75-летию В.И. Столбова ; под ред. В. В. Масакова, В.П. Сидорова. - Тольятти : ТГУ, 2007. - С. 105-116.

23) Столбов, В.И. Оборудование для плазменной точечной сварки тонколистовых алюминиевых сплавов / В.И. Столбов, В.П. Сидоров, С.М. Абросимов, И.П. Куркин // Сварочное производство. - № 1. – 1991. – С. 22

24) Сидоров В.П., Худякова О.Ю. Повышение качества точечной сварки тонкостенных алюминиевых конструкций. Современные проблемы развития сварочного производства и совершенствование подготовки кадров Тез. докл. конф.- Мариуполь, 1996.-С.85.

25) Сидоров В.П., Худякова О.Ю. Расчетно-экспериментальное исследование кратеров при точечной плазменной сварке алюминиевых сплавов. Сб. Теория и практика сварочного производства: Материалы конференции сварщиков Урала "Сварка Урала-97" - Ижевск, изд-во ИжГТУ, 1997.- С.44-46.

26) Сидоров В.П., Худякова О.Ю. Расчетно-экспериментальные исследования влияния теплового и силового потока на жидкую ванну. Материалы конференции : Пайка в создании изделий современной техники МДНТП, 1997-С.24-26.

27) Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.

28) Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.

29) Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

30) Краснопевцева, И.В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.

31) Амирджанова, И.Ю. Правила оформления выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова – Тольятти : ТГУ, 2019. – 145 с.