



## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа направлена на повышение производительности процесса сварки мишеней из алюминиевых сплавов для наработки  $^{183}\text{Ir}$ . В данной работе проанализированы исходные данные (анализ свариваемости алюминиевого сплава, контроль качества сварных соединений, выбор способа сварки). В работе были определены причины образования дефектов в сварных соединениях, разработан технологический процесс сварки алюминиевых сплавов сжатой дугой в среде аргона, обеспечивающий получение сварных соединений требуемого качества, выбрано оборудование для реализации разработанного технологического процесса.

Все четыре части выпускной квалификационной работы на повышение производительности и снижение себестоимость производимых изделий из алюминиевых сплавов.

Работа начинается с описания базовой технологии сварки, постановки задач, а затем логическим переходом к ее возможным решениям.

В ходе выполнения бакалаврской работы были проведены различные эксперименты, связанные со свариваемостью.

Пояснительная записка содержит 65 страниц, графическая часть состоит из 9 листов формата А1.

## **ABSTARACT**

The title of the graduation work is «The technology of welding products from aluminum alloys for producing isotopes in research nuclear reactors».

This graduation work consists of an introduction on 2 pages, including 15 tables, the list of 27 references, and graphic part on 9 A1 sheets.

The initial data (analysis of the weldability of aluminum alloy, quality control of welded joints, and the choice of welding method) was analyzed in this graduation. The work identified the reasons of the formation of defects in welded joints, the developed technological process for welding aluminum alloys with a compressed arc in argon. This new method provides welding joints of the required quality.

All four parts of the graduation work are aimed at increasing the productivity and improving the quality of welded joints of thin-walled aluminum products.

The graduation work describes in details of welding process of alluminium alloys. We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

The economic part of graduation work showed that the use of argon-arc welding method allows increasing productivity and reducing the cost price of manufactured products. Nevertheless, more experimental data are required.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Исходные данные для производства радиоизотопной продукции из алюминиевых сплавов .....	8
1.1 Описание изотопной мишени и её конструкции .....	8
1.2 Условия эксплуатации мишени и требования к сварным соединениям.....	9
1.3 Особенности сварки алюминиевых сплавов.....	10
1.4 Описание базовой технологии сварки изотопной мишени .....	12
1.4.1 Подготовка к сварке .....	13
1.4.2 Сварка .....	14
1.4.3 Герметизация ампул.....	15
1.4.4 Контроль сварных соединений .....	16
1.5 Недостатки базового способа сварки .....	20
1.6 Обзор способов получения неразъёмных соединений .....	20
1.7 Задачи выпускной квалификационной работы .....	23
2 Исследование процесса аргонодуговой сварки мишеней из алюминиевых сплавов неплавящимся электродом.....	25
2.1 Особенности автоматической сварки неплавящимся электродом тонкостенных изделий.....	25
2.2 Расчёт параметров режимов сварки неплавящимся электродом сжатой дугой в среде аргона .....	26
2.3 Выбор оборудования .....	33
2.4 Описание технологии сварки мишеней неплавящимся электродом сжатой дугой в среде аргона .....	36
3 Экологическая безопасность технологического процесса сварки.....	39
3.1 Конструктивно-технологическая и организационно техническая характеристика рассматриваемого способа сварки.....	39
3.2 Идентификация профессиональных рисков при импульсной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом в среде аргона.....	40
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков при импульсной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом в среде аргона .....	41
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	42
3.4.1 Выявление опасных факторов пожара .....	42

3.4.2	Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности заданного технического объекта. ....	42
3.4.3	Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	43
3.5	Обеспечение экологической безопасности технического объекта .....	44
3.5.1	Анализ негативных экологических факторов способа аргодуговой с точки зрения обеспечения его экологической безопасности. ....	44
3.5.2	Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.....	46
3.6	Заключение по разделу «безопасность и экологичность технического объекта» .....	46
4	Экономическая эффективность технологического процесса сварки .....	47
4.1	Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов .....	47
4.2	Расчет штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса .....	48
4.3	Капитальные вложения в оборудование .....	49
4.4	Определение технологической себестоимости базового и проектного вариантов.....	52
4.5	Расчет экономической эффективности .....	59
4.6	Расчёт снижения трудоёмкости и повышения производительности труда в проектном варианте .....	60
4.7	Выводы экономической части.....	60
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	61
	Список использованных источников .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных направлений деятельности АО «ГНЦ НИИАР» является производство радиоизотопной продукции. Область применения радионуклидов очень разнообразна. Они используются в качестве активной части в источниках ионизирующих излучений для диагностики и лечения онкологических заболеваний, в промышленности для контроля технологических процессов, радиационной обработки материалов, разведки полезных ископаемых, используются в приборах технологического контроля и анализа состава вещества, а также в радиационно-технологических облучательных установках [1, 2]. Одним из таких востребованных изотопов, являющегося источником гамма-излучения, является изотоп иридия-183. Наибольшее распространение источники на основе этого изотопа получили в медицине для высокодозовой брахитерапии при лечении онкологических заболеваний и в технике для неразрушающего контроля сварных соединений металлоконструкций [3].

Технология производства изотопов заключается в облучении стартового материала, расположенного в специальном герметичном изделии цилиндрической формы – изотопной мишени, которая погружается в исследовательский ядерный реактор с последующей его переработкой и извлечением необходимого изотопа.

Алюминий является одним из самых подходящих материалов для изготовления таких мишеней. К преимуществам алюминия можно отнести:

- высокую коррозионную стойкость к агрессивным средам из-за наличия плотной оксидной пленки на его поверхности;
- малое сечение захвата нейтронов, повышающее эффективность облучения стартового материала;
- высокую теплопроводность, обеспечивающая хорошую теплопередачу и охлаждение стартового материала;
- достаточную жаростойкость.

Неотъемлемым процессом изготовления таких мишеней является их герметизация сваркой. Сложность сварки изделий из алюминиевых сплавов обусловлена образованием пор, наличием на поверхности изделия тугоплавкой оксидной плёнки. Негативным влиянием оксидной плёнки является ее способность адсорбировать газы, особенно водяной пар. Пленка способна удерживать водяной пар до тех пор, пока не будет подвержена температуре плавления. Также пленка отличается высокой температурой плавления – и препятствует формированию сварочной ванны и качественному формированию сварных соединений. Усложняют технологию сварки высокие требования, предъявляемые к качеству сварных соединений. Так как, нарушение работоспособности изделия может привести к выходу продуктов деления в контур охлаждения, и даже к аварийным ситуациям.

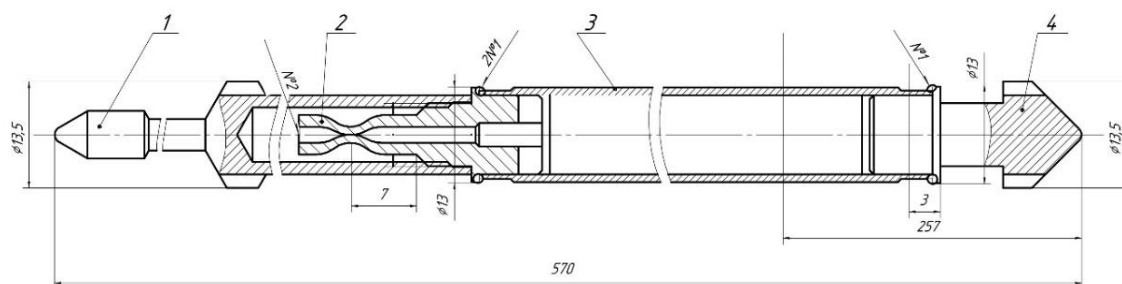
Базовая технология герметизации изделий позволяла получать качественные сварные соединения с учетом вышеизложенных факторов. Это достигалось за счет применения импульсной лазерной сварки с предварительной тщательной подготовкой поверхностей. Известно, что такой способ позволяет получать качественные сварные соединения тонкостенных малогабаритных конструкций [4]. Однако, данная технология сварки является дорогостоящей [5]. К тому же требующей специалистов высокой квалификации для изготовления подобных изделий. В условиях повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции вопрос более производительной и менее затратной технологии, обеспечивающей требуемое качество, является актуальным.

Цель работы: повышение производительности и снижение себестоимости выполнения сварных соединений тонкостенных мишеней из алюминиевых сплавов, для наработки иридия путём разработки новой технологии сварки.

# 1 Исходные данные для производства радиоизотопной продукции из алюминиевых сплавов

## 1.1 Описание изотопной мишени и её конструкции

Мишень состоит из тонкостенной оболочки диаметром  $\varnothing 12$  мм, длиной 570 мм. С торцов оболочки помещаются, втулка (2) и головка (1) и хвостовика(4), которые размещены по торцам изделия (рис. 1.1). В оболочку мишени помещается стартовый материал (иридий, иттербий или стронций). Хвостовик и втулка свариваются с оболочкой (3) лазерной сваркой кольцевыми периметрическими швами, а втулка герметизируется торцевым швом на установке дуговой сварки в контролируемой атмосфере. После герметизации на втулку (2) накручивается головка (1). Конструкция сварных швов стыкозамковая. Процесс сварки осуществляется при горизонтальном расположении изделия. Общая протяженность двух сварных швов равняется  $\sim 100$  мм. Головки и хвостовики требуются для облегчения процесса извлечения мишени из тепловыделяющей сборки. Конструкция мишени приведена на чертеже 19.БР.СОМДиРП.174.11.



1-головка, 2-втулка, 3-оболочка, 4-хвостовик

Рисунок 1.1 – Схематичное изображение мишени

После облучения мишень вскрывается, осуществляется химическая переработка уже облученного радиоактивного материала и выделяется необходимый изотоп.



Материалы, используемые для корпусов изделий активных зон ядерных реакторов, должны обладать достаточной жаропрочностью, коррозионной стойкостью, иметь высокую пластичность, быть устойчивым к снижению прочностных характеристик в процессе эксплуатации [6].

Таким материалом, который больше всего подходит под это описание, является алюминий. Изделие выполняется из алюминиевого сплава АД1, который имеет химический состав по ГОСТ 4784-97 [7] и включает в себя минимум 99,3 % алюминия, поэтому этот сплав можно отнести к технически чистым (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Химический состав в % сплава АД1

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
до 0,3	до 0,3	до 0,025	до 0,15	min 99,3	до 0,3	до 0,3	до 0,1	прочие, каждая 0,05;

Алюминий высокой теплопроводностью, малой плотностью и пр., что позволяет повысить эффективность облучения. Поэтому сплавы на его основе применяются в ядерном реакторостроении. Использование алюминия в активной зоне реактора позволяет работать при невысоком обогащении ядерного топлива или на природном уране и допускает значительную степень его выгорания [8].

## **1.2 Условия эксплуатации мишени и требования к сварным соединениям**

Сварочная мишень эксплуатируются в составе облучательного устройства в нейтральной среде (дистиллированная вода). Максимальное давление, воздействующее на мишень, не превышает отметку в 0,3 Мпа. Температура теплоносителя варьируется от 40 до 45 градусов.

В связи с нагруженными условиями эксплуатации и назначением изделия к качеству сварных соединений предъявляются повышенные требования.

Качество сварного соединения считают неудовлетворительным, если выявленные дефекты (отклонения) превышают допустимые значения, указанные в стандарте или в конструкторской документации, или не соответствуют контрольным образцам внешнего вида, утвержденным в

установленном порядке [9]. Так как для толщины мишени меньше 2 мм браковочными будут являться поры, размер которых превышает 25% от толщины стенки изделия, то в нашем случае, при толщине стенок в 0,9 мм, допускается одна пора с предельным поперечным диаметром в 0,225 мм.

Помимо этого, согласно ОСТ 95 503-2016, у сварных соединений не допускаются несплавления, прожоги, трещины; браковочные поверхностные поры на швах и т.д. [9].

В зависимости от конструкций изделий, способов их изготовления и условий эксплуатации качество сварных соединений должно быть подтверждено одним или несколькими методами неразрушающего или разрушающего контроля, а также исследованиями, совокупно позволяющими установить соответствующие качества сварного соединения требованиям технической документации по следующим показателям:

- геометрии и сплошности в контролируемых сечениях;
- объемной сплошности;
- требуемой нормы герметичности;
- механическим свойствам;
- требуемого структурного состояния и фазового состава;

### **1.3 Особенности сварки алюминиевых сплавов**

Особенностями сварки алюминия являются наличие тугоплавкой оксидной пленки на поверхности и склонность к растворению водорода в расплавленном состоянии. Это приводит к появлению дефектов сварного шва момент его кристаллизации. Основными дефектами являются: пористость, оксидные включения и нарушение формообразования и геометрии сварного шва.

Пористость в сварных соединениях из сплава алюминия снижает их механические и коррозионные свойства, способна в несколько раз уменьшить работоспособность сварных конструкций [10]. Известно, что поры образуются из-за повышенной растворимости водорода. Водород и влага являются

основными источниками поступления водорода в сварочную ванну. Водород располагается в металле в растворенном состоянии, а влага, адсорбирована поверхностью металла и является элементом оксидной плёнки. При охлаждении и кристаллизации металла избыточный водород проникает из металла в микроскопические пустоты [11]. Технологический способ по уменьшению пористости сварных швов из сплава алюминия является самым подходящим методом для предотвращения попадания водорода в сварочную ванну, но для этого требуется качественная подготовка поверхностей.

Бороться с оксидной плёнкой можно следующими способами:

- химическое травление в щелочном растворе NaOH;
- механическим путём с помощью абразивов или трения;
- путём использования флюсов.

Довольно распространенным и действенным методом борьбы с дефектами при сварке алюминия является применение различных флюсов, которые способствуют разрушению оксидной пленки [12]. Однако, при выполнении работ по сварке малогабаритных тонкостенных изделий из алюминиевых сплавов, данный метод может оказаться недостаточно эффективным, так как данный метод не позволяет избежать возникновения мелких дефектов, являющихся в случае с малогабаритными изделиями - браковочными. Наличие сторонних химических элементов, которые являются элементами флюса, внутри изделия с радиоактивным веществом может негативно сказаться на качестве вещества, получаемого при облучении ампулы.

Применение механической обработки (как токарной, так и ручной) как основного способа подготовки изделий к сварке ограничено низкой производительностью. При токарной обработке производительность процесса ограничена парком станков. При ручной обработке – занятостью персонала в связи с низкой скоростью тщательной подготовки. Поэтому оптимальным и производительным способом борьбы с оксидной плёнкой для малогабаритных изделий атомной промышленности является применение технологий химического травления.

#### 1.4 Описание базовой технологии сварки изотопной мишени

Схема изготовления изделий по базовой технологии состоит из следующих операций:

- подготовка под сварку комплектующих деталей;
- сборка и сварка кольцевого шва №1 оболочки с хвостовиком импульсной лазерной сваркой;
- контроль сварного соединения;
- загрузка стартового материала;
- подготовка под сварку комплектующих деталей;
- сборка и сварка кольцевого шва №1 оболочки со втулкой импульсной лазерной сваркой;
- герметизация изделия швом №2 дуговой сваркой в контролируемой атмосфере;
- контроль сварного соединения;
- накручивание защитной головки;
- проведение металлографических исследований на образцах-свидетелях.

В качестве базовой технологии сварки кольцевых швов применялась импульсная лазерная сварка.

Сущность лазерной сварки заключается в получении неразъёмного соединения путём местного расплавления металла по примыкающим поверхностям с последующей его кристаллизацией. Источником тепловой энергии при сварке лазером служит сконцентрированный пучок излучения генератора [5].

Защита сварного шва от вредного воздействия атмосферных газов в момент сварки осуществляется обдувом защитного газа. В базовой технологии применяется гелий. Технология лазерной импульсной сварки проводилась на установке «HTS 400 PV» (рис 1.2).

Основными энергетическими характеристиками лазерной установки, работающей в импульсном режиме являются  $W_{и}$ , его длительность  $\tau_{и}$ , частота

следования этих импульсов  $f_{и}$ , а также средняя  $P_{ср}$  и импульсная  $P_{и}$  мощности излучения, определяемые как

$$P_{ср} = W_{и} * f_{и}, \quad (1.1)$$

$$P_{и} = W_{и} / \tau_{и}. \quad (1.2)$$

Очень важным свойством лазерного излучения является его когерентность. Под когерентностью понимают согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов. При этом волны имеют одинаковый период и неизменный сдвиг фаз колебаний в каждой точке [5].



Рисунок 1.2 - Установка импульсной лазерной сварки HTS 400 PV

#### 1.4.1 Подготовка к сварке

Качество сварных соединений из алюминиевых сплавов сильно зависимо от подготовки свариваемых кромок. В этой связи была применена одна из наиболее часто рекомендуемых технологий подготовки поверхностей к сварке [13; 14], которая включает в себя следующие операции:

- токарная обработка свариваемых поверхностей с использованием спирта (не более чем за 10 часов до сварки) или травление деталей в щелочном растворе NaOH;
- промывка в воде волосяными щётками;
- сушка деталей (сушильный шкаф «ШСВ – 27/3,5») при температуре  $t=100^{\circ}\text{C}$  в вакууме  $p=1,03\text{Па}$  на протяжении  $t=10$  мин;

Иногда между сваркой первого и второго швов проходит несколько дней и поверхности трубки и заглушки покрываются тугоплавкой оксидной плёнкой. Возможность провести химическое травление трубки в гидроксиде натрия не представляется возможным, так как внутри неё располагается вещество, которое будет подвергаться облучению. В таких случаях заглушка повторно подвергается травлению в щелочном растворе, а кромки трубки механически обрабатываются.

#### **1.4.2 Сварка**

Процесс сварки проводится на объективах с различным фокусным расстоянием: 100мм или 200 мм. Исходя из этого, каждому объективу соответствует свой вариант параметров режима сварки. Для объектива с фокусным расстоянием  $f=100\text{мм}$  процесс сварки выполняется в два прохода, т.к. необходимо обеспечение сплошности и требуемых геометрических характеристик сварного соединения. Первый проход необходим для обеспечения требуемого проплавления сварного шва. Второй проход требуется для улучшения поверхности сварного шва.

Режимы сварки первого прохода:

- фокусное расстояние объектива  $F = 100$  мм;
- напряжение накачки  $U = 390-420$  В;
- длительность импульса  $t = 10$  мс;
- диаметр луча лазерного излучения в зоне сварки -1 делений по лимбу с фокусом выше плоскости;
- частота повторения импульса  $f = 6$  Гц;
- перекрытие пятен нагрева 80%;
- расход гелия (аргона)  $Q = 5...7$  л/мин.
- Форма импульса – ступенчатый спад.

Режим сварки второго прохода:

- фокусное расстояние объектива  $F = 100$  мм;
- напряжение накачки  $U = 410-440$  В;
- длительность импульса  $t = 10$  мс;
- диаметр лазерного луча на поверхности изделия -4 делений по лимбу с фокусом выше плоскости;
- частота повторения импульса  $f = 6$  Гц;
- перекрытие пятен нагрева 80%;
- расход гелия (аргона)  $Q = 5...7$  л/мин;
- форма импульса – ступенчатый спад.

### 1.4.3 Герметизация ампул

Окончательная герметизация ампулы осуществлялась сваркой торцового шва (№2) втулки на установке сварки в контролируемой атмосфере. Это связано с техническим требованием наличия внутри мишени инертного газа заданного давления для повышения эффективности облучения [15].

Суть процесса заключается в получении неразъёмного монолитного соединения путём расплавления металла высокой энергией лазерного излучения ( $5 \cdot 10^8 - 10^9$ ) Вт/см<sup>2</sup>.

Сварка осуществлялась на следующих режимах:  $I_{св}= 100\text{А}$ ;  $t_{св}= 0,4\text{ сек}$ ;  $l_{д}= 2,5\text{ мм}$ ; вылет изделия из цанги – 7-10 мм;  $p=0,15-0,3\text{ МПа}$ ;

#### **1.4.4 Контроль сварных соединений**

Проведение контроля качества сварных соединений является неотъемлемой частью сварочного производства.

По окончанию сварочных работ проводилась оценка качества сварных соединений в соответствии с требованиями с ОСТ 95 503-2016, так как при выполнении герметизации есть вероятность образования непроплавлений, газовых пор и каналов и оксидных включений, которые превышают размеры, установленные конструкторской документацией.

Визуальный контроль основного металла, околошовной зоны и сварного соединения проводят для выявления дефектов, которые могут располагаться на поверхности сварочной мишени.

Измерительный контроль проводят с целью проверки соответствия изделий их формам и геометрическим размерам, ширине и выпуклости поверхности шва сварных соединений требованиям соответствующих правил, нормативной технической и конструкторской документации.

При визуально-измерительном контроле на контрольных мишенях дефектов обнаружено не было. Геометрические размеры сварных швов должны быть в пределах требований чертежа.

После визуально-измерительного контроля проводится проверка на герметичность масс-спектрометрическим методом на установке «ADIXEN ASM 340» (рис 1.3). Сущность испытания заключается в регистрации прохождения через оболочку пробного вещества с помощью масс-спектрометра, настроенного на данное пробное вещество. При откачке объекта течеискателем в камеру, в которой располагается изделие, подаётся пробный газ с одновременной регистрацией сигнала течеискателя. По базовой технологии изготовления обеспечивается требуемая норма герметичности.





Рисунок 1.3 - Установка «ADIXEN ASM 340»

Следующим шагом в проведении мероприятий связанных с контролем изделий является радиографический контроль. Данный метод применяется для проверки качества в различных отраслях промышленности. Радиографический метод контроля основан на способности проникновения рентгеновских лучей через поверхность изделия на рентгеновскую плёнку, которая расположена с обратной стороны соединения.

Данный метод контроля выявляет наличие непроваров, шлаковых, вольфрамовых оксидных и других включений, а так же подрезов, трещин и вогнутость и выпуклость шва в труднодоступных местах. Радиографический контроль проводится на комплекте радиографической аппаратуры «Бастион-250-1000М» (рис.1.4). При проведении контроля процент выявленного брака швов выполненных по базовой технологии составил 2%. Основными выявленными дефектами были внутренние поры.



Рисунок 1.4 - Рентгеновский аппарат Бастион 250-1000М

Металлографический контроль осуществляется на образце-свидетеле контролируемой партии (100 шт.). Контроль проводится на металлографическом микроскопе «OLYMPUSGX-51» (рис.1.5) и по его результатам дефектов сварного шва не выявлено. Проплавление составляло не менее 100 % от толщины свариваемых кромок.



Рисунок 1.5 - Микроскоп «OLYMPUSGX-51»

Геометрические размеры строго соответствуют требованиям чертежа. Данный способ активно применяется при производстве изделий атомной промышленности.

Проведенный анализ качества контролируемой партии изделий, сварных по базовой технологии подтвердил соответствие формы сварного шва и сплошности предъявляемым требованиям (рис. 1.6, 1.7).

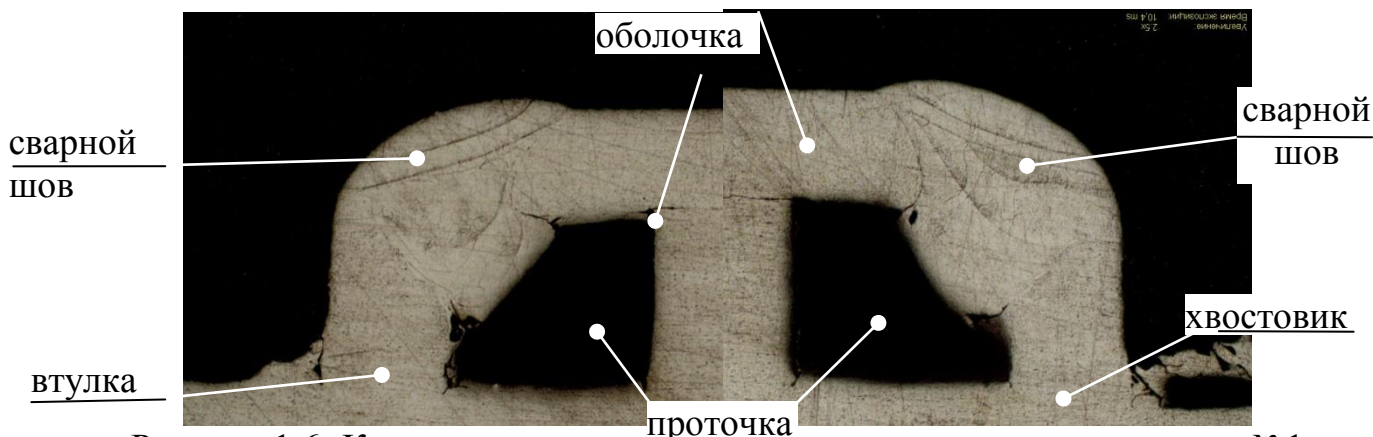


Рисунок 1.6 -Качественная микроструктура кольцевых сварных швов №1 ампулы, выполненная на объективе F=100, x25

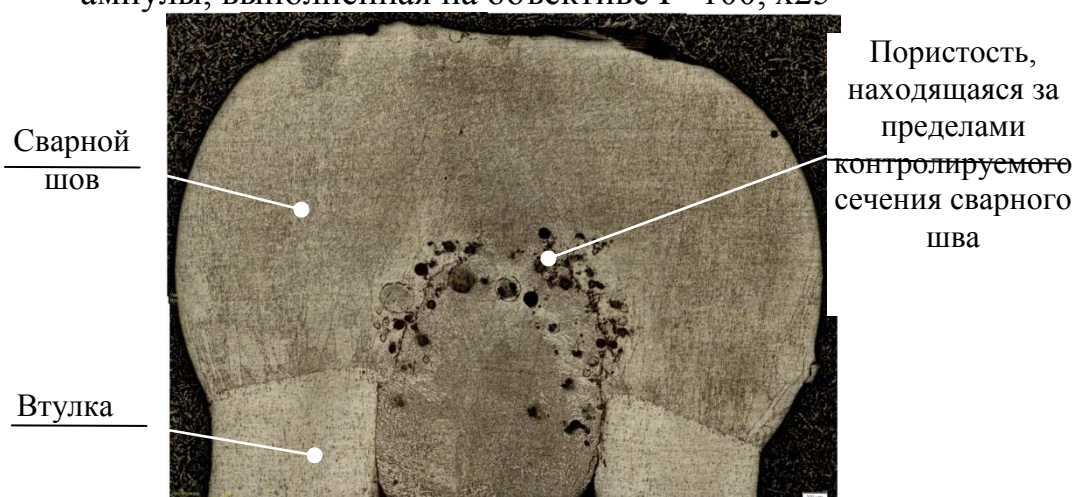


Рисунок 1.7 - Качественная микроструктура торцевого сварного шва №2 ампулы, выполненного на установке сварки в гелиевой среде, X50

Согласно ОСТ 95 503-2016 допускается повторная ремонтная сварка, поэтому в случае, когда и при однократной повторной сварке не устраняются дефекты сварного шва, существует возможность подготовки сваренных деталей к ремонтной сварке. Так как, при лазерной сварке ширина сварного шва и околошовной зоны не превышает 1,2 мм, удаление этих участков не приводит к нарушению требований конструкторской документации к общей длине мишени. Удаление металла производится вместе с заглушкой. После этого по торцам оболочки размещаются новые заглушки, и производится сварка на первичных режимах.

## **1.5 Недостатки базового способа сварки**

Лазерная сварка является современной и технологичным способом сварки и находит всё большее применение для сварки миниатюрных изделий [16]. Процесс соединения материалов, выполняется с использованием направленного пучка лазерного излучения. Благодаря возможности обеспечения высокой концентрации энергии сфокусированным лучом процесс сварки происходит с расплавлением малого объема металла с небольшой зоной термического влияния. Малое время существования сварочной ванны снижают вероятность образования пор, а импульсное воздействие обеспечивает перемешивание металла сварочной ванны, разбивая и разрушая оксидные пленки [17]. Тем не менее, данный способ не лишен недостатков.

К недостаткам технологии импульсной лазерной сварки можно отнести:

- высокая стоимость оборудования и эксплуатации;
- малая производительность;
- высокие требования к квалификации персонала, выполняющего сварку;
- сложность технологического оборудования.

## **1.6 Обзор способов получения неразъемных соединений**

Процесс герметизации изделий атомной техники подразумевает особые требования к способам сварки, которые должны обеспечивать:

- соблюдение геометрических размеров и прочих требований установленных ТД;
- кратковременное тепловое воздействие, малый объем сварочной ванны и минимальные размеры зоны термического влияния.

Известные виды сварки, применяемые для изготовления изделий из алюминия для атомной техники на данный момент: контактно-стыковая, электронно-лучевая, микроплазменная, дуговая в среде инертных газов и лазерная [17]. Известны случаи, когда для соединения миниатюрных изделий

применяется пайка [18]. Ниже приводятся краткое описание способов сварки, их достоинства и недостатки.

#### Контактно-стыковая сварка

Этот процесс заключается в образовании соединений в результате нагрева металла электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия.

Данный способ сварки позволяет соединять изделия по всему периметру их торцов. Изделия фиксируются в электродах-губках, после чего соприкасаются кромка к кромке, после чего подаётся электрический ток. Положительной особенностью данного способа сварки является получение металла с мелкозернистой структурой в месте контакта. Такие дефекты как поры, трещины и шлаковые включения при этом способе невозможны. Высокая производительность и малая дефектность являются преимуществами данного способа, однако, недостатком, не позволяющим использовать данный способ при сварке нашего изделия, является склейка в местах стыка, которая не позволяет проверить изделие неразрушающими методами контроля [18].

#### Электронно-лучевая сварка.

Этот способ сварки основан на использовании энергии, высвобождаемой при торможении потока ускоренных электронов в свариваемых материалах. Невозможность окисления расплавленного металла, скорость сварки и высокое качество шва являются преимуществами данного способа.

При данном способе возможность возникновения дефектов крайне мала, по сравнению с другими способами, однако, есть два весомых недостатка этого способа сдерживающие его применение в технологии герметизации изделий атомной промышленности:

- низкая производительность;
- возможность образования несплавлений и полых отверстий в корне шва.

#### Микроплазменная сварка

При микроплазменной сварке соединение образуется за счет энергии плазменного потока с высокой степенью сжатия, проходящего через

охлаждаемое формирующее сопло. Высокое качество достигается за счёт малой ширины зоны термического влияния и малой площади нагрева [19]. Микроплазменную сварка часто используется для сварки особо тонких материалов и миниатюрных деталей. Однако существуют недостатки, которые не позволяют применять этот способ сварки. К недостаткам плазменного способа можно отнести высокие требования к точности сборки свариваемых поверхностей, сложное оборудование, необходимость в высококвалифицированном обслуживающем персонале.

### Пайка

Получение герметичных соединений изделий с минимальными габаритами так же возможно с помощью пайки [19]. В образовании соединения, при пайке, участвуют флюсы, предназначенные для удаления оксидной пленки с металла и припоя, и защиты их от окисления. При использовании способов пайки без применения флюсов используются различные среды, разрушающие оксидные пленки. Реализация способов безфлюсовой пайки требует особых технологий (например, ультразвуковое лужение), которые являются малопроизводительными. Паяные соединения, полученные с применением флюсовой пайки, отличаются низкой коррозионной стойкостью. К тому же фториды и хлориды, содержащиеся во флюсах, при облучении трансформируются во вредные примеси, усложняющие технологию переработки.

### Аргонодуговая сварка

Одним из самых распространённых методов сварки тонкостенных изделий из цветных металлов является аргонодуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов.

Аргонодуговая сварка применяется в различных отраслях промышленности и пользуется высоким спросом из-за её достоинств:

- высокая производительность;
- универсальность;
- стоимость оборудования ниже, чем у других способов.

Данный способ сварки пользуется спросом на предприятиях атомной промышленности, так как его стоимость помогает сократить производственные расходы, сохранив высокое качество сварных соединений.

Наибольшее распространение в атомной промышленности получил импульсный метод аргодуговой сварки, так как он позволяет выполнять сварные соединения тонкостенных кромок. Из-за пульсирующей дуги металл меньше находится в расплавленном состоянии, уменьшается разогрев свариваемых кромок изделия, что позитивно сказывается на формировании сварного [21]. К тому же, по аналогии с лазерной сваркой при импульсном воздействии происходит перемешивание и разрушение оксидной пленки в сварном соединении [22].

Финансовые вложения при внедрении данного способа существенно меньше, чем при других способах. Помимо этого способ обладает большей производительностью, чем базовый способ сварки.

Повысить производительность так же можно использованием автоматической дуговой сварки. Автоматическая дуговая сварка позволяет уменьшить участие человека в процессе сварки, а это значит, что геометрия сварного шва будет стабильной при соблюдении технологии подготовки поверхностей.

Из проведенного анализа возможных способов сварки алюминиевых сплавов можно сделать вывод, что перспективным способом соединения металлов является аргодуговая сварка ввиду её преимуществ, которые перекрывают недостатки базового способа сварки.

### **1.7 Задачи выпускной квалификационной работы**

Таким образом, опираясь на результаты проведенного анализа можно выделить основные задачи бакалаврской работы, которые необходимо решить для повышения производительности выполнения сварных соединений тонкостенных мишеней из алюминиевых сплавов:

– выбрать способ сварки, который обладает большей производительностью и меньшей себестоимостью выпускаемой продукции;

- изучить процессы и особенности сварки алюминия выбранным способом;
- разработать технологию сварки изделий;
- оценить экономическую эффективность.



## **2 Исследование процесса аргодуговой сварки мишеней из алюминиевых сплавов неплавящимся электродом.**

### **2.1 Особенности автоматической сварки неплавящимся электродом тонкостенных изделий**

В настоящее время применение импульсной аргодуговой сварки неплавящимся электродом для соединения конструкционных материалов обусловлено высокой универсальностью [23] и производительностью данного процесса.

Характерными дефектами для импульсной дуговой сварки сжатым электродом в среде аргона являются:

- образование прожогов;
- наличие оксидных включений в сварных соединениях;
- пористость.

Известно, что одной из основных причин нарушения герметичности сварных швов является «замешивание» в сварочную ванну оксидных плёнок с поверхности основного металла и присадочной проволоки, приводящее к образованию разветвлённых несплошностей с повышенным давлением заключенного в них водорода [23].

В отдельных случаях в сварных соединениях выполненных аргодуговой сваркой, наблюдаются оксидные включения, но они являются продолжением зазора между поверхностями. Как правило, они имеют минимальные геометрические размеры, поэтому она практически не оказывает влияния на работоспособность. Сварной шов, выполненный аргодуговой сваркой переменным током, имеет более протяжённые оксидные включения. В основном они выходят из зазора между свариваемыми поверхностями в зону литого металла. В большинстве случаев они не только провоцируют образование трещин в сварном шве, но и уменьшают его рабочее сечение [24].

Применение импульсной дуговой сварки позволяет вызвать активное перемешивание металла, в результате чего оксидная плёнка раздробливается и распределяется по всему объёму сварочной ванны.

## **2.2 Расчёт параметров режимов сварки неплавящимся электродом сжатой дугой в среде аргона**

Корректно выбранные параметры и режимы сварки являются основополагающими признаками бездефектного сварного соединения. Неправильный режим сварки может привести к увеличению дефектов сварного шва, а так же потере герметичности сварного соединения.

Основными параметрами импульсного режима аргонодуговой сварки неплавящимся электродом являются:

- сила тока в импульсе  $I_p$ ;
- скважность импульсов  $G$ ;
- отношение полярностей  $I_{пр}/I_{обр}$ ;
- диаметр  $d_э$  и заточка электрода (угол заточки) ;
- скорость сварки  $V_{св}$ ;
- расход защитного газа  $Q_{Ar}$ ;
- и др.

Электроды для проведения сварочных работ подбираются исходя из толщины свариваемых изделий, разделки кромок и требуемой формы сварного шва.

Чем выше сила тока, тем активнее идёт расплавление металла, следовательно, больше производительность, однако, если её значение слишком высокое, то на изделии наблюдается перегрев и разбрызгивание металла, что негативно влияет на качество сварного шва. Малая сила тока может привести к неполному проплавлению кромок, что является недопустимым.

Для тонкостенных изделий проплавляющая способность должна варьироваться  $G=1-3$  [25]. Обычная сварка непрерывно горячей дугой

характеризуется жёсткостью  $G=0$  ( $t_u=\infty$  или  $t_n=0$ ), а дуговая точечная сварка  $G=\infty$  ( $t_n=\infty$ ). В нашем случае она равняется:

$$G = \frac{t_n}{t_u} = \frac{0,0504}{0,0296} = 1,702; \quad (2.1)$$

При этом, расчётная сила тока равна:

$$I_p = \frac{I_{\text{имп}}}{1+G} = \frac{80 \div 90}{1 + \frac{0,0504}{0,0296}} = 29,6 \div 33,3 \text{ А}. \quad (2.2)$$

По результатам предварительных пробных экспериментов были определены ориентировочные параметры импульсного режима для аргонодуговой сварки в импульсном режиме:  $I_{\text{св}}=80,0$  А,  $v_{\text{св}}=1,25$  мм/с,  $t_{\text{и}}=0,296$  с,  $t_{\text{п}}=0,504$  с,  $l_{\text{г}}=0,8 \dots 1,0$  мм,  $h=2,0 \dots 2,5$  мм,  $Q=6,0 \dots 8,0$  л/мин.

Для проверки расчетных параметров режима сварки было проведено экспериментальное подтверждение. Образцы, повторяющие по конструкции изотопную мишень, сварили на режимах, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры режима сварки сжатой дугой в среде аргона

№ п/п	$I_{\text{св}}, \text{ А}$	$t_{\text{и}}, \text{ с}$	$t_{\text{п}}, \text{ с}$	$l_{\text{г}}, \text{ мм}$	$Q, \text{ л/мин}$	$v_{\text{св}}, \text{ мм/с}$
1	2	3	4	5	6	7
1	76	0,0296	0,0504	0,8...1,0	6,0...8,0	1,25
2	80	0,0296	0,0504	0,8...1,0	6,0...8,0	1,25
3	84	0,0296	0,0504	0,8...1,0	6,0...8,0	1,25

Контроль поверхности сварных швов сваренных аргонодуговой сваркой сжатой дугой в импульсном режиме дефектов не выявил. Контроль сплошности выявил поры браковочного размера в 20% случаев (рис. 2.1 а). Помимо этого, в некоторых соединениях были обнаружены микропоры радиусом от 0,01 до 0,03 мм, но они не являются браковочными. Оксидные включения в сварных соединениях, выполненных аргонодуговой сваркой в импульсном режиме, формировались с достаточно большой вероятностью и в большинстве случаев нарушали сечение сварного шва. В сварных соединениях, выполненных гелиеводуговой сваркой методом оплавлением торца, также обнаружены поры и оксидные включения в 6% образцов (рис. 2.1 б).

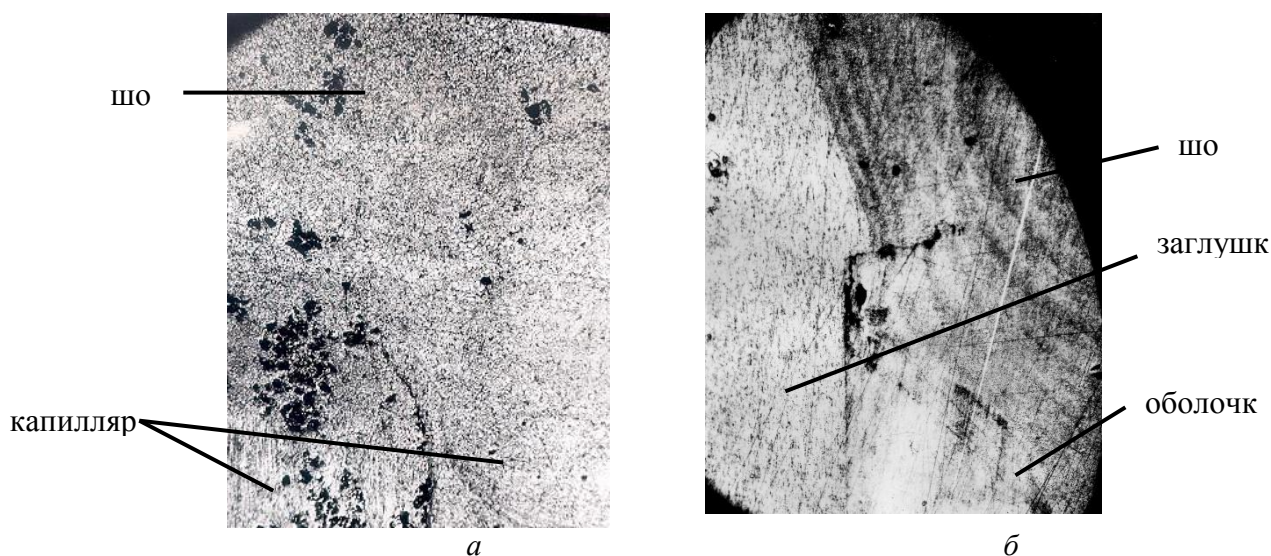


Рисунок 2.1 - Сварные соединения, выполненные дуговой сваркой методом оплавлением торца (а - х70) и дуговой сваркой в импульсном режиме стыкозамкового шва (б - х70)

С целью устранения таких дефектов в стыкозамковых соединениях (рис. 2.2) под сварным соединением, в теле заглушки, выполняется проточка для вытеснения оксидной пленки из контролируемого сечения сварного шва. Как отмечалось, существующие рекомендации [22; 23] не охватывают рассматриваемые толщины и способ сварки.

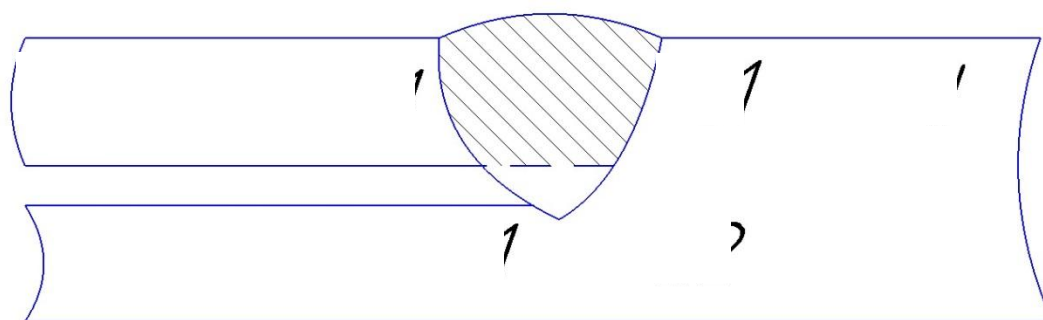
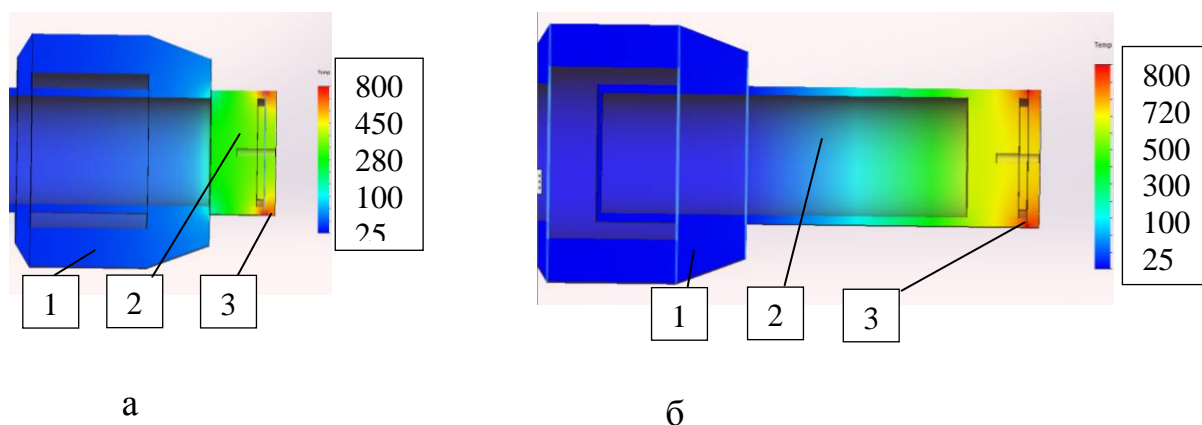


Рисунок 2.2 - Эскиз стыкозамкового соединения

Геометрические размеры применяемой проточки должны быть достаточными для вмещения металла с оксидной пленкой из зазора, при этом, не оказывать негативного влияния на формирование и требуемую геометрию сварного соединения. В связи с этим, размер проточки стоит подбираться исходя из объема сварочной ванны. Измерение объема расплавляемого металла проведен при металлографических исследованиях и выполнен расчет

требуемого и достаточного объёма канавки для вмещения расплавленного металла с оксидной пленкой. В расчетах принималось, что величина заполнения проточки должна составлять 75-85%. Исходя из опыта, ширина проточки принималась  $1 \pm 0,1$  мм (рис.2.5). Выполнение меньшей ширины требует изготовления специальной оснастки, а так же не обеспечивает вывод оксидной пленки за пределы сечения сварного шва, а при большой ширине значительно увеличивается вероятность прожогов оболочки. При проведении экспериментов выяснилось, что на формирование шва большое влияние оказывает еще один параметр – величина вылета изделия из медной цанги. Было проведено компьютерное моделирование теплового поля при сварке кольцевого шва. Согласно модели, при величине вылета 10 мм и 30 мм, цанга оказывает значительное влияние на распространение тепла, и как следствие на условия кристаллизации и течения металла (рис. 2.3).



1 — цанга; 2 — ампула; 3 — сварное соединение

Рисунок 2.3 - Модель теплового расчёта изделия при сварке с вылетом из цанги 10 мм (а) и 30 мм (б)

Экспериментально установлено, что при аргонодуговой сварке ампул для наработки Ir-183 наиболее благоприятное формирование шва происходит при вылете изделия из медной цанги на 15–20 мм.

Что касается глубины проточки, то при изменении величины вылета изделия из медной цанги необходимо корректировать глубину проточки (рис. 2.4). Определено, что для рекомендованной величины вылета равной 15-20 мм, глубина проточки должна составлять 1 мм.



Рисунок 2.4 - Рекомендуемая глубина проточки в зависимости от вылета изделия из цанги, мм

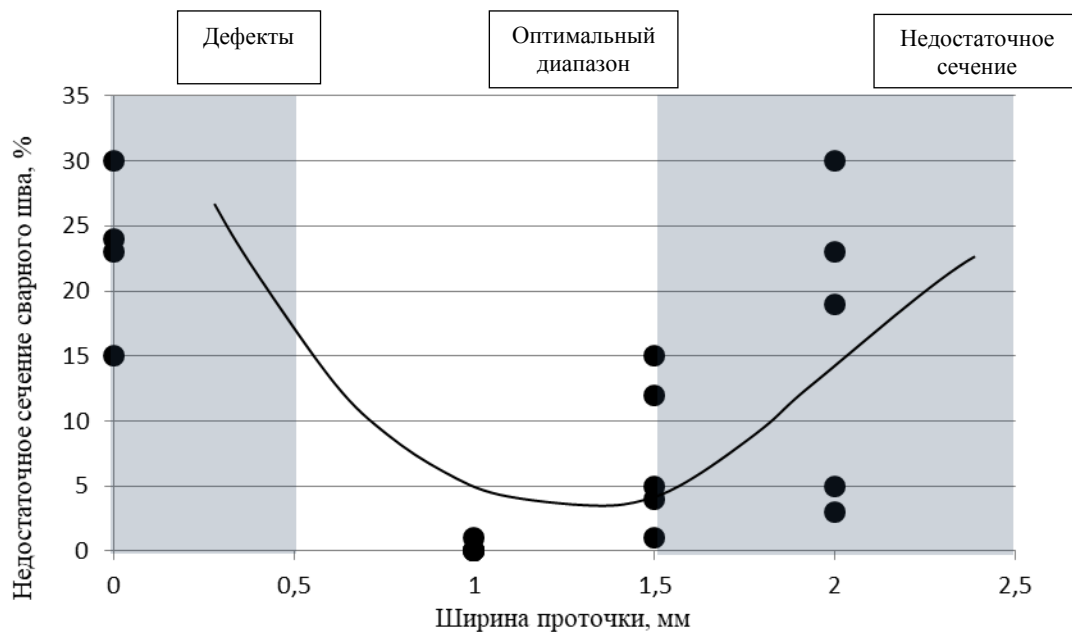


Рисунок 2.5 - Влияние ширины проточки на проплавление сварного шва, %

Процесс сварки швов №1 экспериментальных мишеней-свидетелей выполнялся на токах  $80A \pm 4A$  со скоростью вращения изделия 3 об/мин.

Важным этапом выполнения сварочных работ является подготовка кромок. Применяемые технологии позволяют избавиться от оксидной плёнки на поверхности кромок свариваемых изделий. Существующая рекомендация гласит, что сварка изделий из алюминиевых сплавов должна выполняться не позднее, чем 10 часов после выполнения механической обработки или

травления. Сварные швы первых 5 образцов, которые выполнялись спустя 2 часа после травления, формировались в 100% случаев.

Возможны ситуации, когда изделия вылёживаются и завариваются спустя время. Оставшиеся 10 мишеней заваривались спустя сутки после выполнения травления. За это время оксидная плёнка смогла восстановить некоторую толщину. В этом случае Сварочная ванна не образовывалась.

За счёт сил поверхностного натяжения, каждая из соединяемых кромок свариваемого изделия старалась принять округлую форму (рис.2.6). Толстая оксидная плёнка препятствовала образованию общей сварочной ванны в точке соприкосновения свариваемых кромок.

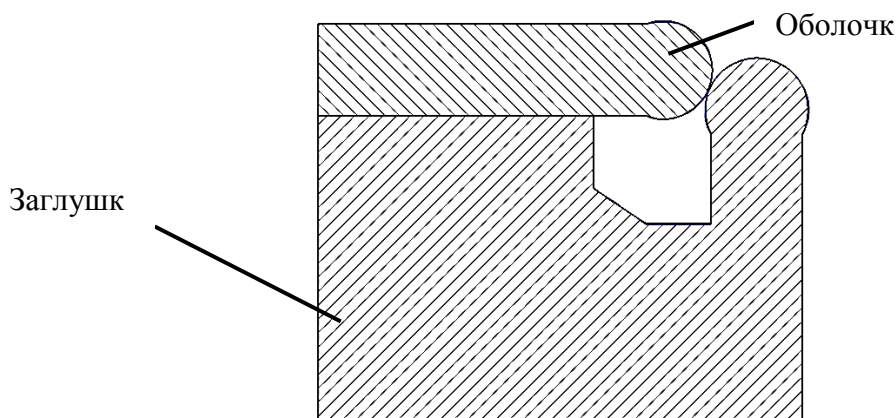


Рисунок 2.6 - Эскиз свариваемых кромок

Без технологических приёмов сформировать сварной шов проблематично, поэтому широко применяются различные методики, способствующие формированию общей сварочной ванны. Самыми распространёнными являются:

- химическое травление в NaOH;
- ручная механическая обработка;
- смещение оси горелки электрода относительно стыка;
- выполнение механическим способом засечек;
- выполнение прихваток.

Химическое травление в растворе гидроксиде натрия является довольно эффективным методом и широко применяется в различных отраслях но, к сожалению, использование данной методики невозможно на изделиях, в

которых находится стартовый материал, поэтому данную методику можно использовать только для обработки некоторых частей сварочной мишени.

Ручная механическая обработка применяется в тех случаях, когда её использование неизбежно, например, когда стартовый материал уже загружен в мишень и требуется избавиться от оксидной плёнки на свариваемой кромке. Данный способ нежелателен в использовании, так как он малопроизводителен. Механическая обработка кромок сварного соединения позволяет уменьшить количество оксидных включений до 20%, так как во время выполнения этой процедуры снимать старый толстый слой и при контакте с воздухом образуется новый, но намного тоньше.

Смещение электрода применяется при сварке разнотолщинных изделий и является эффективным только в этом случае. Используя эту методику на изделиях с одинаковой толщиной, велика вероятность того, что кристаллизация и течения металла будут неравномерными.

Выполнение механическим способом на поверхности свариваемых кромок засечек является самым простым по выполнению среди всех перечисленных способов но, к сожалению, данный метод не обеспечивает образование общей сварочной ванны.

Приёмом, который обеспечивает гарантированное образование общей сварочной ванны, является выполнение прихваток на установке для импульсной лазерной сварки.

Нам пришлось прибегнуть к использованию данного приёма, так как некоторые мишени варились спустя 24 часа после процедуры травления.

При выполнении прихватки длиной 1 мм сварочная ванна образовывалась в 80% случаев, длиной 3 мм – сварочная ванна образовывалась в 100% случаев (рис.2.7).



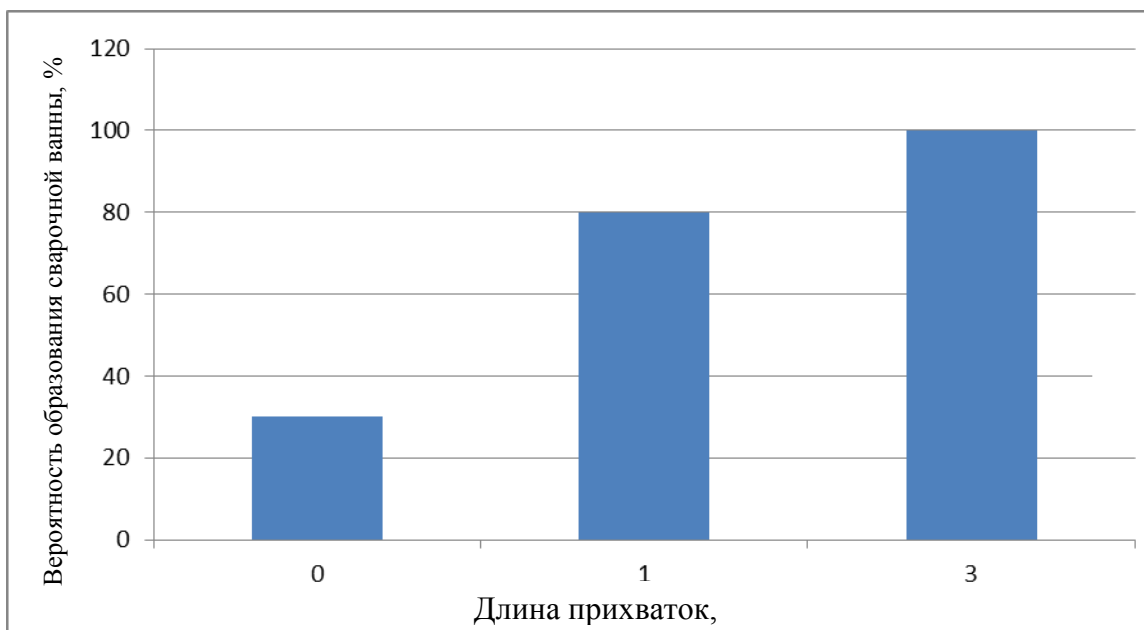


Рисунок 2.7 - Влияние длины прихватки на вероятность образования сварочной ванны

### 2.3 Выбор оборудования

В настоящее время современные сварочные аппараты обладают множеством функций, которые помогают получить сварное соединение с минимальным количеством браковочных дефектов. Они помогают бороться с оксидной плёнкой и облегчать процесс сварки. Наряду с оборудованием общего назначения, существует оборудование специального назначения. К такому типу оборудования относится модулятор тока для аргонодуговой сварки УДГИ-161 (рис.2.8), технические характеристики которого приведены в таблице 2.2.



Рисунок 2.8 - Внешний вид модулятора УДГИ-161 с подключенным сварочным выпрямителем SEA Matrix 220 AC/DC

Таблица 2.2 - Технические характеристики модулятора для аргодуговой сварки УДГИ-161

Номинальный сварочный ток, А	160
Продолжительность нагрузки, ПН%	25
Напряжение ХХ подключаемого сварочного выпрямителя, В (не более)	110
Напряжение питания, В	220±40
Частота питающей сети, Гц	50±5
Длина кабеля сварочной горелки, м (не более)	4
Длина соединительных кабелей, м (не более)	1,5
Габаритные размеры (длина * ширина * высота), мм	390*410*340
Масса, кг (не более)	10

Принцип работы данного устройства основан на преобразовании постоянного однополярного тока в переменный. Включение аппарата производится кнопкой, которая располагается на газовой горелке. При нажатии этой кнопки включается газовый клапан, после чего защитный газ начинает подаваться в зону сварки и по истечении времени предварительной продувки – зажигается дуга. После зажигания дуги реализуется запрограммированный алгоритм модуляции тока в соответствии с рисунком 2.9.

Отличительной особенностью модулятора является его способность создавать определённые импульсы, которые помогают выводить оксидную плёнку из сварочной ванны. Это происходит из-за того, что импульсы дуги, действующие на сварочную ванну, вызывают её механические колебания, которые закручивают оксидную плёнку в спираль. Поэтому при импульсно-дуговой сварке дефекты формирования шва – провисание и подрезы – практически отсутствуют [22, 26].

Основными параметрами импульсно-дуговой сварки являются время импульса и паузы и время цикла сварки  $T_{ц}=t_{и}+t_{п}$ .

За время каждого импульса в изделие вводится количество теплоты, равное:

$$Q=q_{и} \cdot t_{и}, \quad (2.3)$$

где  $q_{и}$  – эффективная мощность источника тепла во время импульса.

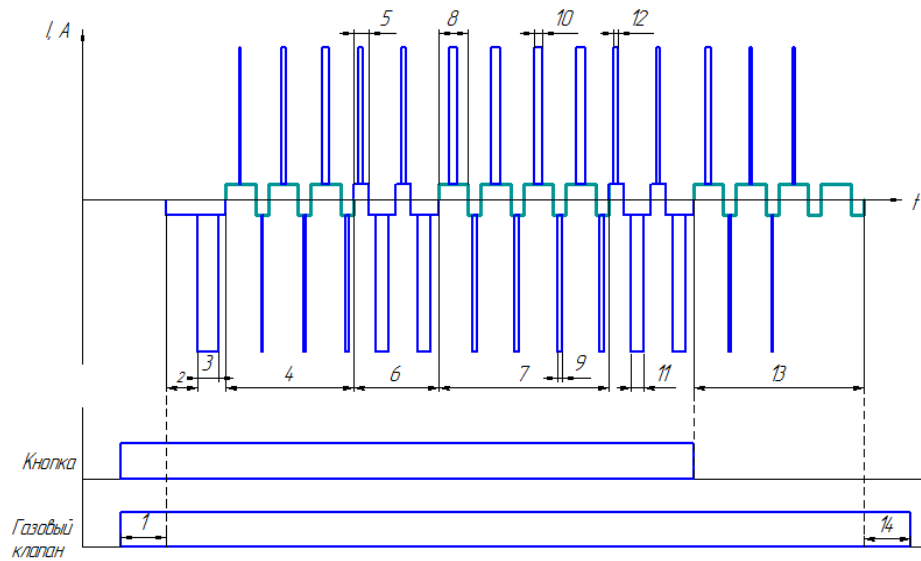


Рисунок 2.9 – Диаграммы взаимодействия модулятора газового клапана и сварочного инвертора.

В качестве выпрямителя для работы модулятора используется источник питания «SEA Matrix 220 AC/DC», внешний вид которого приведена на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 - Сварочный инвертор «SEA Matrix 220 AC/DC»

## **2.4 Описание технологии сварки мишеней неплавящимся электродом сжатой дугой в среде аргона**

Проектная технология разработана и направлена на повышение производительности выполнения сварных соединений тонкостенных мишеней из алюминиевых сплавов для наработки изотопов.

Отработка технологии сварки мишеней неплавящимся электродом сжатой дугой проводилась на посту, оборудованном вращателем с использованием источника питания Matrix 220 AC/DC и модулятора тока для аргонодуговой сварки УДГИ-161. Модулятор создаёт прямоугольную форму тока. Оксидная плёнка выводится из контролируемого сечения шва за счёт импульсов сварочного тока.

Проточка, выполняемая под сварным соединением, служит для вывода расплава сварочной ванны с оксидными плёнками за пределы контролируемой зоны. Такие соединения, как правило, собираются без зазора. Выполняется это для более равномерного нагрева кромок свариваемой детали.

Так же, одним из преимуществ модулятора тока УДГИ-161 является то, что он позволяет увеличить пространственную стабильность сварочной дуги, а это в свою очередь положительно влияет на формирование сварного соединения.

Защитный газ, используемый при отработке технологии - аргон марки «А» по ГОСТ 10157-79. Угол заточки вольфрамового электрода марки «ВЛ» диаметром 2,4 мм. – 25°...30°.

При герметизации капилляра использовался гелий марки «А» и вольфрамовый электрод марки «ВЛ» диаметром 3мм..

Герметизацию торцевого шва осуществляли на установке сварки под давлением оборудованную источником питания постоянного тока УСПД.

Процесс выполнения состоит из следующих операций:

- подготовка под сварку комплектующих деталей;
- сборка изделия;
- сварка кольцевых швов;
- контроль соединения;

- проведение металлографических исследований.

Подготовка поверхностей оказывает сильное влияние на качество соединений. Подготовка под сварку включала следующие операции:

- токарная обработка свариваемых поверхностей с использованием спирта (не более чем за 10 часов до сварки);
- сушка деталей (сушильный шкаф «ШСВ – 27/3,5») при температуре  $t=100^{\circ}\text{C}$  в вакууме  $p=1,03$  Па на протяжении  $t=10$  мин.

Качество сварного шва удовлетворяет требованиям при следующих режимах:

- Matrix 220 AC/DC:  $I_{\text{св}} = 70...90$  А;  $Q_{\text{ар}} = 6...8$  л/мин.
- УДГИ-161: согласно инструкции по эксплуатации.

Герметизация капилляра велась под давлением гелия в 0,15-0,30 Мпа на следующих режимах:  $I_{\text{св}} - 70...90\text{А}$ ,  $l_{\text{д}} - 1$  мм,  $t_{\text{св}} - 0,4$  с.

Масс-спектрометрический, радиографический и физуально-измерительный методы контроля дефектов не выявили. Геометрические размеры соединения удовлетворяют требования конструкторской документации.

По результатам металлографического контроля в сварных соединениях дефектов (пор, трещин, непроваров) не выявлено (рис.2.11). Проплавление составляет не менее 100% от толщины свариваемых кромок.



а

б

Рисунок 2.11 - Металлография сварных соединений

а – без проточки, б – с проточкой

Выводы:

- 1) Разработана технология сварки мишени для наработки изотопов иридия;
- 2) Определена оптимальная конструкция проточки в сварном соединении;
- 3) В случае появления брака при проведении работ по сварке и герметизации мишеней допускается повторная сварка;
- 4) Проведение работы возможно только при сохранении геометрических размеров мишени, указанных в конструкторской документации.

### 3 Экологическая безопасность технологического процесса сварки

#### 3.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого способа сварки

Техническим объектом выпускной бакалаврской работы является способ импульсной аргодуговой сварки изделий из алюминиевых сплавов сжатой дугой в среде инертного газа – аргона.

Данный способ является источником опасных и вредных производственных факторов, поэтому требуется провести исследования направленные на изучение особенностей протекания аргодуговой сварки и выявить возможные способы возникновения пожароопасных ситуаций.

Данный способ характеризуется прилагаемым технологическим паспортом, приведённым в таблице. 3.1.

Таблица 3.1 – Технологический паспорт способа дуговой сварки.

№ операции	Технологический процесс	Выполняемая технологическая операция	Должность рабочего	Оборудование	Материалы, вещества
1	2	3	4	5	6
1	Подготовка поверхностей комплектующих деталей изделия (головка, оболочка, втулка) под сварку	Травление; промывка; сушка	Сварщик	щелочной раствор гидроксида натрия; волосяные щётки; сушильный шкаф ШСФ-27/3,5	алюминий
2	Сварка шва №1-1 импульсной дуговой сваркой сжатой дугой в среде инертных газов	сборка; сварка	Сварщик	модулятор УДГИ-161; сварочный выпрямитель Matrix 220 AC/DC; вольфрамовый электрод марки «ВЛ»; аргон марки «А»	алюминий
3	Контроль качества сварного соединения	визуальный контроль; масс-спектрометрический	Инженер-исследователь	штангенциркуль; микрометр; масс-спектрометр «ADIXEN ASM 340»;	алюминий

1	2	3	4	5	6
		контроль; металлографический контроль		металлографический микроскоп «Olympus GX-51»; персональный компьютер	
4	Повторная подготовка поверхности хвостовика под сварку	шабрение	Сварщик	шабер	алюминий
5	Сварка шва №1-2 импульсной дуговой сваркой в среде инертных газов	сборка; сварка	Сварщик	модулятор УДГИ-161; сварочный выпрямитель Matrix 200 AC/DC; вольфрамовый электрод марки «ВЛ»; аргон марки «А»	алюминий
6	Контроль качества сварного соединения	визуальный контроль; масс- спектрометрический контроль; металлографический контроль	Инженер- исследователь	штангенциркуль; микрометр; масс-спектрометр «ADIXEN ASM 340»; металлографический микроскоп «Olympus GX-51»; персональный компьютер	алюминий
7	Подготовка капилляра под герметизацию	шабрение;	Сварщик	шабер	алюминий
8	Герметизация капилляра	сварка под давлением;	Сварщик	Установка сварки под давлением УСПД-200; гелий	алюминий
9	Контроль качества сварного соединения	визуальный контроль; масс- спектрометрический контроль; металлографический контроль	Инженер- исследователь	штангенциркуль; микрометр; масс-спектрометр «ADIXEN ASM 340»; металлографический микроскоп «Olympus GX-51» компьютер	алюминий

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков при импульсной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом в среде аргона

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

№ опера ции	Технологическая операция	Опасные производственные факторы	Источник опасного воздействия
-------------------	-----------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------



1	2	3	4
1	Травление	Вероятность попадания щелочного раствора на открытые участки кожи или глаза	Щелочной раствор гидроксида натрия
2	Импульсная дуговая сварка	Чрезмерно высокая температура материальных объектов, могущих вызвать ожоги	Модулятор УДГИ-161, сварочный выпрямитель Matrix 220 AC/DC
3	Контроль качества	Умственное перенапряжение; монотонность труда	Персональный компьютер
4	Герметизация	Чрезмерно высокая температура материальных объектов, могущих вызвать ожоги; повышенный уровень шума;	Установка сварки под давлением УСПД-200
5	Шабрение	Повышенное стружкоотделение	Шабер

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков при импульсной аргодуговой сварке неплавящимся электродом в среде аргона

Таблица 3.3 – Методы и средства по устранению негативного воздействия опасных производственных факторов

№ операции	Опасный производственный фактор	Методы и средства защиты/снижения/устранения опасного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1	2	3	4
1	Вероятность попадания щелочного раствора на открытые участки кожи или глаза	Лабораторный шкаф	Спецодежда, перчатки резиновые
2	Чрезмерно высокая температура материальных объектов, могущих вызвать ожоги; Подвижные части производственного оборудования	Ограждения, защитные экраны	Щиток сварщика, спецодежда, фартук сварщика, рукавицы
3	Умственное перенапряжение	Ежечасный 5-ти минутный перерыв	
4	Монотонность труда;	Ежечасный 5-ти минутный перерыв	
5	Повышенный уровень шума;	Ограждения, защитные экраны	Беруши

1	2	3	4
6	Повышенное стружкоотделение;	Ограждения, защитные экраны	Спецодежда, перчатки х/б, очки защитные

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

#### 3.4.1 Выявление опасных факторов пожара

Таблица 3.4.1 Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ операции	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожаро-опасности	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5	6
1	Участок подготовительной операции	Сушильный шкаф ШСФ-27/3,5	В; Е	А, Б	В
2	Участок сварочной операции	Модулятор УДГИ-161; Сварочный выпрямитель Matrix 220 AC/DC; Установка сварки под давлением УДГИ-101	Е	А, Б	В
3	Исследовательский участок	Масс-спектрометр «ADIXEN ASM 340»	Е	А, Б	В
4	Металлографический участок	Персональный компьютер, металлографический микроскоп «Olympus GX-51»	Е	А, Б	В

#### 3.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности заданного технического объекта.

Таблица 3.4.2 – 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 инвентарь	Пожарная сигнализация, связь и оповещение
1	2	3	4	5	6	7	8

Внутренний пожарный кран; Пожарный щит; Переносные и передвижные огнетушители	Пожарные автомобили; Автоцистерны; Автопомпы; Автолестницы	Спринклерные установки пожаротушения	Автоматические установки пожарной сигнализации; Автоматические установки пожаротушения; Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; Автоматические системы противопожарной защиты	Пожарные стволы; Генераторы пены; Пожарные рукава	Комплект индивидуальный медицинский гражданский защиты; Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения; Набор перевязочных средств противожоговых	Ломы, топоры, багры; Гидравлический аварийно-спасательный инструмент	Система связи пожарной охраны; Извещатели; Линии связи и приемные станции
---	--	--------------------------------------	--	---	--	--	---

### 3.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Таблица 3.4.3 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса	Вид организационно-технических мероприятий	Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
1	2	3
Подготовительная операция, сушильный шкаф ШСФ-27/3,5	Контроль наличия ГСМ, своевременное устранение нарушений. Соблюдение	Отсутствие течи горючесмазочных материалов; Отсутствие оголенных частей

1	2	3
	целостности изоляции на токоподводящих частях оборудования. Наличие первичных средств пожаротушения	токоподвода
Сварочная операция, модулятор УДГИ-161, сварочный выпрямитель Matrix 220 AC/DC; Установка сварки под давлением УДГИ-101	Своевременное устранение нарушений и обслуживание оборудования. Соблюдение целостности изоляции на токоподводящих частях оборудования. Наличие первичных средств пожаротушения	Отсутствие оголенных частей токоподвода
Проверка на герметичность, масс-спектрометр «ADIXEN ASM 340»	Своевременное устранение нарушений. Соблюдение целостности изоляции на токоподводящих частях оборудования. Наличие первичных средств пожаротушения	Отсутствие оголенных частей токоподвода
Металлографические испытания, персональный компьютер, металлографический микроскоп «Olympus GX-51»	Соблюдение целостности изоляции на токоподводящих частях оборудования. Наличие первичных средств пожаротушения	Отсутствие оголенных частей токоподвода

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

#### 3.5.1 Анализ негативных экологических факторов способа аргонодуговой с точки зрения обеспечения его экологической безопасности.

Таблица 3.5.1 – Идентификация негативных экологических факторов дуговой сварки

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса	Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу
1	2	3	4	5

Подготовительная операция	Подвод электроснабжения	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Сварочная операция	Подвод электро-, водоснабжение, подвод инертных газов	Сброс сжатого воздуха, с последующим отведением системой вентиляции	отсутствует	отсутствует
Проверка на герметичность	Подвод электроснабжения	Сброс сжатого воздуха, с последующим отведением системой вентиляции	отсутствует	отсутствует
Металлографические испытания	Подвод электроснабжения	отсутствует	отсутствует	отсутствует

### **3.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду**

Таблица 3.5.2 - Организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия аргонодуговой сварки на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Технологический процесс свариваемости образцов из сплава АД1
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Своевременное обслуживание системы вентиляции
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Негативные факторы воздействия на литосферу отсутствуют
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Негативные факторы воздействия на литосферу отсутствуют

### **3.6 Заключение по разделу «безопасность и экологичность технического объекта»**

В ходе выполнения данного раздела были выявлены и сформулированы вредные и опасные производственные факторы, которые возникают при выполнении сварных соединений импульсной аргонодуговой сваркой в среде инертных газов. Выполненный поиск и анализ методов предотвращения и борьбы с вредными и опасными производственными факторами показал, что снижение их негативных факторов возможно с помощью использования стандартных методов пожарной безопасности. При внедрении данного способа сварки в производство негативное влияние будет оказываться только на атмосферу, однако, мероприятия по обслуживанию систем вентиляции позволят избавиться от угроз экологической безопасности.

## 4 Экономическая эффективность технологического процесса сварки

Применяемый на предприятии в настоящее время вариант сварки мишеней – импульсная лазерная сварка. Внесено предложение сварные швы мишеней выполнять, используя автоматическую аргонодуговую сварку в среде аргона. Сравнение достоинств и недостатков данных вариантов приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика вариантов

Базовый способ	Проектный способ
Применяемая технология сварки мишеней характеризуется низкой производительностью процесса, так как скорость сварки низкая.	Применив автоматическую АДС, можем увеличить скорость сварки, что повысит и производительность процесса.

Далее рассчитаем экономический эффект от внедрения проектной технологии сварки мишеней. Расчет при сравнении базовой и проектной технологии сварки мишеней будем выполнять только по изменяющимся статьям затрат.

### 4.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Необходимые для выполнения экономических расчетов данные указаны в таблице 4.2. Количество свариваемых на предприятии в течение года мишеней составляет 1000.

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчёта

№ п/п	Показатель	Условные обозначения	Единица измерения	Варианты	
				Базовые	Проектные
1	2	3	4	5	6
1	Стоимость присадочного материала:	Цэл	Руб./кг	470	470
2	Стоимость аргона	Цзг	Руб./м <sup>3</sup>	100	100
3	Годовая программа	Нпр	Шт.	1000	1000
4	Коэффициент, учитывающий размер транспортно-	Ктз	-	1,05	1,05

1	2	3	4	5	6
	заготовительных расходов				
5	Коэффициент, устанавливающий размер доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
6	Коэффициент, устанавливающий размер отчислений на дополнительную заработную плату	Кдоп	%	12	12
7	Коэффициент, учитывающий размер отчислений на социальные нужды.	Ксн	%	30	30
8	Стоимость оборудования	Цоб	Руб.	2500000	300000
9	Норма амортизационных отчислений на используемое оборудование	На	%	18	18
10	Коэффициент полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,7
11	Стоимость электроэнергии	Цээ	Руб./кВт	2,2	2,2
12	Стоимость аренды площади	Сэкспл	Руб./м <sup>2</sup>	1800	1800
13	Площадь, занимаемая оборудованием	S	м <sup>2</sup>	8	11
14	Коэффициента, учитывающий затраты на монтаж и демонтаж оборудования	Кмонт	%		2
15	Принятое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
16	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб./м <sup>2</sup>	3000	3000
17	Коэффициент общепроизводственных расходов	Кцех	%	2,15	2,15
18	Коэффициент общехозяйственных расходов	Кпроизв	%	1,9	1,9
19	Норма амортизационных отчислений на площадь	Напл	%	2	2
20	Часовая тарифная ставка	Сч	Руб./час	325	182

## 4.2 Расчет штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Штучное время сварки мишени определим по формуле:

$$t_{шт} = t_{н-з} + t_o + t_v + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} \quad (4.1)$$



Машинное время для автоматической сварки на единицу изделия определим по формуле:

$$t_o = \frac{60 \cdot L_{ш}}{V_{св}} \quad (4.2)$$

Отсюда следует, что для базового варианта:

$$t_{онр} = \frac{60 \cdot 0,1}{5} = 1,2 \text{ мин};$$

$$t_{шппр} = 0,0006 + 1,2 + 0,12 + 0,06 + 0,096 + 0,012 = 1,5 \text{ мин} = 0,025 \text{ часа.}$$

Значения для проектного варианта

$$t_{онр} = \frac{60 \cdot 0,1}{10} = 0,6 \text{ мин};$$

$$t_{шппр} = 0,0003 + 0,6 + 0,06 + 0,03 + 0,048 + 0,006 = 0,75 \text{ мин} = 0,0125 \text{ часа.}$$

#### 4.3 Капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{ОБЩ}} = K_{\text{ПР}} + K_{\text{СОП}} \quad (4.3)$$

где:  $K_{пр}$  – прямые капитальные вложения в оборудование, руб.;

$K_{соп}$  – сопутствующие капитальные вложения в оборудование, руб.

Прямые капитальные вложения рассчитываются по двум сравниваемым вариантам:

$$K_{\text{ПР}} = \sum \text{Ц}_{\text{ОБ}} \cdot k_3 \quad (4.4)$$

где:  $\sum \text{Ц}_{\text{об}}$  – суммарная цена оборудования, руб.;

$k_3$  – значение коэффициента, который учитывает загрузку технологического оборудования.

Для определения требуемого количества оборудования, позволяющего выполнить годовую программу сварки 1000 мишеней, воспользуемся формулой:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60} \quad (4.5)$$

где:  $N_{пр}$  – программа выпуска изделий, шт.;

$t_{шт}$  – штучное время на изготовление одного изделия, мин.;

$\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы сварочного оборудования, час.

Полученное при расчетах количество оборудования округляем до целых значений ( $n_{об.прин}$ ).

Коэффициент загрузки сварочного оборудования рассчитывается по формуле:

$$k_z = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (4.6)$$

Фонд времени работы сварочного оборудования:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.п}) \quad (4.7)$$

где:  $D_k$  - всего календарных дней в году;

$D_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$D_{пр}$  – количество праздничных дней в году;

$T_{см}$  – продолжительность рабочей смены, час;

$S$  – Количество рабочих смен;

$k_{р.п}$  – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{эф.} = (365 - 110 - 14) * 8 * 1 * (1 - 0,06) = 1812 \text{ час};$$

$$n_{об.расчетн.б} = \frac{1000 * 1,5}{1812 * 60} = 0,014 \text{ шт};$$

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{1000 * 0,75}{1812 * 60} = 0,007 \text{ шт};$$

$$k_{зб} = \frac{0,014}{1} = 0,014;$$

$$k_{зпр} = \frac{0,007}{1} = 0,007;$$

$$K_{ПРБ} = 2500000 * 0,014 = 35000 \text{ руб};$$

$$K_{ПРПР} = 300000 * 0,007 = 2100 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения рассчитываются только для проектного варианта:

$$K_{сop} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (4.8)$$

$K_{монт}$  – затраты на монтаж нового оборудования;

$K_{дем}$  – затраты на демонтаж старого оборудования;

$K_{площ}$  – затраты на производственные площади под новое оборудование.

$$K_{монт} = \Sigma Ц_{об} * k_{монт} \quad (4.9)$$

где:  $k_{монт}$  – коэффициент монтажа оборудования = 0,02.

$$K_{монт} = 300000 * 0,02 = 6000 \text{ руб};$$

$$K_{дем} = \Sigma Ц_{об} * k_{дем} \quad (4.10)$$

где:  $k_{дем}$  – коэффициент демонтажа старого оборудования = 0,02.

$$K_{дем} = 2500000 * 0,02 = 50000 \text{ руб};$$

Затраты на площадь, дополнительно занимаемую под новое оборудование, рассчитываем по формуле:

$$K_{площ} = S_{площ} * Ц_{площ} * g * k_3 \quad (4.11)$$

где:  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{площ} = 3 * 3000 * 3 * 0,007 = 189 \text{ руб}$$

$$K_{ОБЩ}^{БАЗ} = K_{пр} = 35000 \text{ руб.}$$

$$K_{ОБЩ}^{ПР} = 6000 + 50000 + 189 + 2100 = 58289 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{N_{пр}} \quad (4.12)$$

$$K_{уд}^{БАЗ} = 35000 / 1000 = 35 \text{ руб};$$

$$K_{уд}^{ПР} = 58289/1000 = 58,289 \text{ руб.}$$

#### 4.4 Определение технологической себестоимости базового и проектного вариантов.

Затраты на сварочные материалы

В базовом варианте

$$ЗМ_{СВПР} = З_{пр} + З_{зг} \quad (4.13)$$

Затраты на электродную проволоку

$$З_{пр} = Ц_{ПР} * Н_{ПР} \quad (4.14)$$

где Ц<sub>ПР</sub> – цена электродной проволоки, руб/кг;

Н<sub>ПР</sub> = норма расхода электродной проволоки, кг.

Норма расхода проволоки

$$Н_{ПР} = У * L \quad (4.15)$$

где – У - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

L – длина сварного шва, м.

$$У = k_p * M_{напл.мет} \quad (4.16)$$

где k<sub>p</sub> – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

M<sub>напл.мет</sub> – расчетная масса наплавленного металла.

$$M_{напл.мет} = \rho * F_n * 10^{-3} \quad (4.17)$$

Где ρ – плотность наплавленного металла, 2,7 г/см<sup>3</sup>;

F<sub>n</sub> – площадь поперечного сечения шва, F<sub>n</sub> = 10d<sub>пр</sub> = 20 мм<sup>2</sup>.

$$M_{напл.мет} = 2,7 * 20 / 1000 = 0,054$$

$$У = 1,05 * 0,054 = 0,0567$$

$$Н_{ПР} = 0,0567 * 0,2 = 0,01134 \text{ кг}$$

$$З_{ПР} = 470 * 0,01134 = 5,3298 \text{ руб}$$

Затраты на защитный газ (базовый вариант)

$$З_{з.г.} = Ц_{з.г.} * Н_{з.г.} \quad (4.18)$$

где Ц<sub>з.г.</sub> – цена защитного газа, руб./литр;

Н<sub>з.г.</sub> – норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва, литр.

Норму расхода защитных газов определяем при сварке:

$$N_{з.г.} = U_{з.г.} * L + U_{доп.} \quad (4.19)$$

где  $U_{з.г.}$  – удельная норма расхода защитного газа на 1 метр шва, по стандартам предприятия, л.

$$U_{з.г.} = q_{зг} * t_0 \quad (4.20)$$

где  $q_{зг} = 10$  л/мин;

$$U_{з.г.} = 10 * 1,2 = 12 \text{ л.}$$

$U_{доп.}$  – дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательной операции (продувка магистрали и т.д.),  $m^3$ .

$$U_{доп.} = t_{всп} * q_{зг} \quad (4.21)$$

где  $t_{всп}$  – вспомогательное время, необходимое для продувки шлангов, мин;

$D_{зг}$  – удельная норма расхода защитного газа за единицу времени,  $m^3$ /мин.

$$U_{доп.} = 10 * 0,12 = 1,2 \text{ литра}$$

$$N_{рз.г.б} = U_{з.г.} * L + U_{доп.} = 12 * 0,2 + 1,2 = 3,6 \text{ литра}$$

$$З_{з.г} = 0,1 * 3,6 = 0,36 \text{ руб.}$$

$$З_{Мб} = З_{прб} + З_{зг} = 5,3298 + 0,36 = 5,6898 \text{ руб.}$$

Затраты на сварочные материалы

В проектном варианте

Затраты на защитный газ (проектный вариант)

$$Z_{з.г.} = C_{з.г.} \cdot N_{з.г.} \quad (4.22)$$

где  $C_{з.г.}$  – цена защитного газа, руб./литр;

$N_{з.г.}$  – норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва, литр.

Норму расхода защитных газов определяем при сварке:

$$N_{з.г.} = U_{з.г.} \cdot L + U_{доп.} \quad (4.23)$$

где  $U_{з.г.}$  – удельная норма расхода защитного газа на 1 метр шва, по стандартам предприятия, л.

$$U_{з.г.} = q_{зг} \cdot t_o \quad (4.24)$$

где  $q_{зг} = 10$  л/мин;

$t_o$  основное машинное время сварки.

$$U_{з.г.} = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ л.}$$

$U_{доп.}$  – дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательной операции (продувка магистрали и т.д.), м<sup>3</sup>.

$$U_{доп.} = t_{всп} \cdot q_{зг} \quad (4.25)$$

где  $t_{всп}$  – вспомогательное время, необходимое для продувки шлангов, мин;

$D_{зг}$  – удельная норма расхода защитного газа за единицу времени, м<sup>3</sup>/мин.

$$U_{доп.} = 10 \cdot 0,06 = 0,6 \text{ л.}$$

$$N_{з.г.б} = U_{з.г.} \cdot L + U_{доп.} = 6 \cdot 0,2 + 0,6 = 1,8 \text{ л}$$

$$Z_{з.г.} = 0,1 \cdot 1,8 = 0,18 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы в проектном варианте

$$Z_{Мпр} = Z_{пр} + Z_{зг} = 5,3298 + 0,18 = 5,5098 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию рассчитаем исходя из полезной мощности оборудования:

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} \cdot C_{э-э} \quad (4.26)$$

где  $P_{об} = I_{св} \cdot U_{\partial}$  – полезная мощность оборудования КВА;

$t_0$  – основное (машинное) время работы сварочного оборудования;

$\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования;

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  $U_{\partial}$  – напряжение на дуге, В.

$$P_{об}^{ПП} = 100 \cdot 30 = 3 \text{ кВА};$$

$$P_{об}^{БАЗ} = 80 \cdot 30 = 2,4 \text{ кВА}.$$

$$З_{э-эб} = \frac{3 \cdot 72}{0,8 \cdot 60} \cdot 2,2 = 9,9 \text{ руб.}$$

$$З_{э-э пр} = \frac{2,4 \cdot 36}{0,8 \cdot 60} \cdot 2,2 = 3,96 \text{ руб}$$

Полезную мощность оборудования для аргодуговой сварки определим по режимам сварки: сила тока и напряжение,

$$P_{об}^{ПП} = 36 \cdot 23 = 828 \text{ Вт} = 0,83 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{э-эб} = \frac{0,83 \cdot 36}{0,8 \cdot 60} \cdot 2,2 = 1,3695 \text{ руб.}$$

К режимам лазерной сварки относят мощность лазерного луча, скорость сварки, фокусное расстояние и заглубление фокуса. Мощность лазерного луча определяет мощность оборудования. Расходами энергии на систему управления лазером ввиду незначительности пренебрегаем.

$$P_{обпр} = 3000 \text{ Вт} = 3 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{э-эб} = \frac{2 \cdot 0,02}{0,7} \cdot 2,2 = 0,13 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} + З_{в.тех} + З_{сж.возд} \quad (4.27)$$

где  $A_{об}$  – амортизационные отчисления на оборудование, руб.;

$P_{т.р}$  – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

$З_{в.тех}$  – затраты на воду техническую;

$Z_{сж.возд}$  – затраты на сжатый воздух.

Затраты на амортизацию оборудования

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * На_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} \quad (4.28)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$На_{об}$  – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{обпр} = \frac{300000 * 0,75 * 18}{1812 * 100 * 60} = 0,37 \text{руб}$$

$$A_{обб} = \frac{25000000 * 1,5 * 18}{1812 * 100 * 60} = 6,21 \text{руб}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_3}{\Phi_{эф} * 100} \quad (4.29)$$

где  $H_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{т.р.б} = \frac{2500000 * 35 * 0,014}{1812 * 100} = 6,77 \text{руб.}$$

$$P_{т.р.пр} = \frac{300000 * 35 * 0,007}{1812 * 100} = 0,41 \text{руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$Z_{обб} = 6,21 + 6,77 = 12,97 \text{руб}$$

$$Z_{обпр} = 0,37 + 0,41 = 0,78 \text{руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$Z_{плоч} = \frac{Ц_{плоч} * S_{плоч} * На_{плоч} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 100 * 60} \quad (4.30)$$

где:  $Ц_{плоч}$  – цена  $1\text{м}^2$  производственной площади, руб.;

$На_{плоч}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{плоч}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием,  $\text{м}^2$ ;

$$Z_{плоч.б.} = \frac{3000 * 8 * 2 * 1,5}{11812 * 100 * 60} = 0,06623 \text{руб.} = 0,007 \text{руб.}$$



$$Z_{площ.п.} = \frac{3000 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 0,75}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,04553 \text{ руб.} = 0,005 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Фонд заработной платы (ФЗП) представляет собой сумму основной зарплаты и дополнительной.

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛосн} + \text{ЗПЛдоп.} \quad (4.31)$$

Затраты на основную заработную плату.

$$\text{ЗПЛосн} = t_{шт} \cdot Сч \cdot k_{зпл} \quad (4.32)$$

где Сч – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$t_{шт}$  – норма штучного времени, час;

$k_{зпл}$  – принятое значение коэффициента, который учитывает начисления на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{нр} \cdot k_{вн} \cdot k_y \cdot k_{нф} \cdot k_H \quad (4.33)$$

где  $k_{нр} = 1,25$  – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм;

$k_y = 1,1$  – коэффициент, который учитывает доплаты за условия труда;

$k_{нф} = 1,067$  – коэффициент, который учитывает доплаты за профессиональное мастерство;

$k_H = 1,133$  – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,067 \cdot 1,133 = 1,83$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^B = 0,025 \cdot 325 \cdot 1,88 = 15,28 \text{ руб}$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^{ПП} = 0,0125 \cdot 182 \cdot 1,83 = 4,16 \text{ руб}$$

Затраты на дополнительную заработную плату

$$\text{ЗПЛ}_{доп} = \frac{k_d}{100} \cdot \text{ЗПЛ}_{осн} \quad (4.34)$$

где  $k_d$  – коэффициент, соотношения между основной и дополнительной заработной платой, 10%.

$$ЗПЛ_{ДОП}^Б = 15,275 \cdot 1,2 / 100 = 1,49 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{ДОП}^{ПП} = 4,16 \cdot 1,2 / 100 = 0,42 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_Б = 15,28 + 1,49 = 16,36 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{ПП} = 4,16 + 0,42 = 4,58 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{CH} = \PhiЗП \cdot N_{соц} / 100 \quad (4.35)$$

где  $N_{соц}$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, 30 %.

$$O_{CH}^{БАЗ} = 16,36 \cdot 26,2 / 100 = 4,48 \text{ руб}$$

$$O_{CH}^{ПП} = 4,58 \cdot 26,2 / 100 = 1,22 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

$$C_{ТЕХ} = ЗМ + Зэ-э + Зоб + Зплоч + \PhiЗП + O_{CH} \quad (4.36)$$

$$C_{ТЕХ}^{БАЗ} = 5,69 + 17,11 + 12,97 + 0,007 + 17,11 + 4,49 = 50,15 \text{ руб.}$$

$$C_{ТЕХ}^{ПП} = 5,51 + 3,96 + 0,78 + 0,005 + 4,66 + 1,22 = 16,13 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + P_{ЦЕХ} \quad (4.37)$$

где  $P_{ЦЕХ}$  – сумма цеховых расходов, руб.

$$P_{ЦЕХ} = Z_{осн} \cdot K_{ЦЕХ} / 100 \quad (4.38)$$

где  $K_{ЦЕХ}$  – коэффициент, который учитывает цеховые расходы, %.

$$C_{ЦЕХ}^{БАЗ} = 50,15 + 0,33 = 50,48 \text{ руб.}$$

$$C_{ЦЕХ}^{ПП} = 16,13 + 0,08 = 16,21 \text{ руб.}$$

Заводская (производственная) себестоимость

$$C_{ПРОИЗВ} = C_{ЦЕХ} + P_{ПРОИЗВ} = C_{ЦЕХ} + K_{зав} \cdot Z_{осн} / 100 \quad (4.39)$$

где  $P_{зав}$  – сумма заводских расходов, руб.

$K_{зав}$  – коэффициент общезаводских расходов, %

$$C_{ПРОИЗВ}^{БАЗ} = 50,48 + 0,29 = 50,77 \text{ руб.}$$

$$C_{ПРОИЗВ}^{ПП} = 16,22 + 0,08 = 16,30 \text{ руб.}$$

Таблица 4.3 – Калькуляция себестоимости сварки мишени

Показатели	Условные обозначения	Калькуляция, руб.	
		Базовый	Проектный
1	2	3	4
Материалы вспомогательные	ЗМ	5,69	5,51
Затраты на электроэнергию	З <sub>э-э</sub>	9,9	3,96
Фонд заработной платы	ФЗП	17,11	4,67
Отчисления в страховые фонды	О <sub>сн</sub>	4,48	1,22
Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	З <sub>об</sub>	12,97	0,78
Затраты на площади	З <sub>пл</sub>	0,01	0,01
Себестоимость технологическая	С <sub>ТЕХ</sub>	50,15	16,13
Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	0,33	0,09
Себестоимость цеховая	С <sub>цех</sub>	50,48	16,21
Себестоимость заводская (производственная)	С <sub>зав</sub>	50,77	16,3

#### 4.5 Расчет экономической эффективности

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости изготовления изделия

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{у.г.} = \left( C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot N_{пр} \quad (4.40)$$

$$\mathcal{E}_{у.г.} = (50,77 - 16,3) \cdot 1000 = 34468,84 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект

Для определения размера годового экономического эффекта от внедрения в технологический процесс нового оборудования, установки для импульсной дуговой сварки неплавящимся электродом, воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_Г = [(C_{зав}^б + E_H \cdot K_{уд}^б) - (C_{зав}^{пр} + E_H \cdot K_{уд}^{пр})] \cdot N_{пр} \quad (4.41)$$

$$\mathcal{E}_Г = [(50,77 + 0,33 \cdot 35) - (16,3 + 0,33 \cdot 58,29)] \cdot 1000 = 26783,47 \text{ руб.}$$

Величину срока окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}^{пр}}{Pr_{ож}} \quad (4.42)$$

$$T_{OK} = \frac{58289}{34468,84} \approx 1,7 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{cp} = 1/T_{OK} = 1/1,69 = 0,59 > E_H$$

#### **4.6 Расчёт снижения трудоёмкости и повышения производительности труда в проектном варианте**

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (4.43)$$

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,025 - 0,0125}{0,025} \cdot 100\% = 50\%$$

Снижение трудоёмкости произошло вследствие повышения скорости проведения сварки.

Величину показателя увеличения производительности труда определим по формуле:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (4.44)$$

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

#### **4.7 Выводы экономической части**

Экономически эффект при смене технологии на аргонодуговую сварку для сварки мишеней составил около 30 тысяч рублей. Производительность выполнения сварки увеличилась на 100%. Финансовые затраты на капитальное вложение в технологическое оборудование окупятся за 1,7 года. Совокупность этих факторов свидетельствует о том, что экономическая эффективность увеличилась, а значит поставленную цель можно считать достигнутой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, повышена производительность выполнения сварных соединений путём разработки технологии аргонодуговой сварки сжатой дугой в среде аргона стыкозамковых соединений мишеней из алюминиевых сплавов для наработки изотопов иридия-183.

На основании литературного обзора и инженерных расчётов выбраны параметры режимов процесса, определено влияние каждого из параметров режима сварки на качество сварных соединений и проведена сварка опытных образцов на выбранных режимах.

Полученной в ходе информации, однако, недостаточно для того, чтобы сделать окончательные выводы. Дальнейшим направлением исследований является увеличение объёма экспериментальных данных.

Результат работы в полной мере показывают необходимость продолжения исследований по данной теме, так как совершенствование технологии автоматической аргонодуговой сварки сжатой дугой в среде аргона, в дальнейшем, может найти применение в перспективной отрасли ядерной энергетики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сытин В.П., Теплов Ф.П., Череватенко Г.А. Радиоактивные источники ионизирующих излучений – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Sources et Products Radioactives: catalogue. - C.I.S. - 1976. - P. 60.
3. Lawson RS, Davies G, Hesslewood SR, Hinton PJ and Maxwell A., 2004. Delivery and collection of radioactive packages to and from hospital nuclear medicine departments, Nucl Med Commun, 25, 1161 – 1167
4. Табакин Е.М., Семидоцкий И.И., Узиков В.А., Казаков Ю.В. Влияние времени существования сварочной ванны на качество сварного шва при лазерной сварке тонкостенных оболочек.// Сварочное производство, 2007, №11. С.13-16.
5. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. –664 С.: ил. – ISBN 5-7038-2701-9
6. Решетников Ф.Г., Головин И.С., Казенов Ю.И. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Кн.2. М.: Энергоатомиздат, 1995.
7. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправками)
8. Бескорвайнов Н.М. Конструкционные материалы ядерных реакторов – М.: Атомиздат 1977. С 11
9. ОСТ 95 503-2016 Соединения сварные и паяные для изделий активных зон ядерных реакторов. Общие технические требования. Правила приемки и методы контроля качества (с Изменением N 1);
10. Винокуров В.А. Эксплуатационные и технологические требования к сварным соединениям в отношении сплошности.// Сварочное производство, 1987, №3. С.27-30.
11. Huntington, C.A. Laser welding of aluminium and aluminium alloys./ C.A. Huntington, T.W. Eage // Weld. J. - 1983. - V.62. - N 4. - P.105-107.

12. Никифоров Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. С.230.
13. Никифоров Г.Д., Славин Г.А., Букуров В.И. Влияние параметров импульсной дуги на герметичность сварных соединений из сплава АМг6. // Сварочное производство, 1975, №4. С.18-21 .
14. Рабкин Д.М., Игнатьев В.Г., Довбищенко И.В. Дуговая сварка алюминия и его сплавов. – М.: Машиностроение, 1982. – 95С., ил. – (Б-ка электросварщика).
15. Suga Yasuo, Hasui Atsushi. On Arc Characteristics in High Pressure Helium Atmosphere // Quarterly Journal of The Japan Welding Society. 1988. Vol. 6. № 1.
16. Huntington, C.A. Laser welding of aluminium and aluminium alloys./ C.A. Huntington, T.W. Eage // Weld. J. - 1983. - V.62. - N 4. - P.105-107.
17. Katayama, S., Kawahitoa, Y., & Mizutania, M. (2010). Elucidation of laser welding phenomena and factors affecting weld penetration and welding defects. *Physics Procedia*, 5(B), 9–17.
18. Баннов. Д.Ю., Казаков Ю.В., Козулин М.Г. Сварка и резка материалов. М.: Издательский центр “Академия”, 2000
19. Справочник по пайке/под ред. И.Е.Петрунина. - М.: Машиностроение, 1984.
20. Микроплазменная сварка / под ред. Б.Е.Патона. - К: Наук. Думка, 1979.
21. Петров А.В., Славин Г.А. Автоматическая сварка тонколистовой стали импульсной дугой в среде аргона. // Сварочное производство, 1962, №2.
22. Казаков Ю.В., Каплин А.В., Костюченко Н.А., Андреев С.А. Технология дуговой сварки малогабаритных изделий атомной техники в среде Скрипченко А.И., Сурков А.В. Проплавливающая способность концентрированного лазерного луча.// Сварочное производство, 1984, №4. С.11-13.

23. Никифоров Г.Д., Славин Г.А., Букуров В.И. Влияние параметров импульсной дуги на герметичность сварных соединений из сплава АМг6. // Сварочное производство, 1975, №4. С.18-21 .
24. Табакин Е.М., Иванович Ю.В., Байкалов В.И., Макаров О.Ю. Технологические особенности сварки плавлением тонкостенных оболочек из алюминиевых сплавов при дистанционном управлении // Сварочное производство, 2016, №11. С.8-13.
25. Сварка в машиностроении: справочник в 4 т. Т. 1. / Под ред. Н.А.Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978.
26. Букаров В.А., Ищенко Ю.С., Демичев В.И. Пути повышения стойкости вольфрамовых электродов при аргонодуговой сварке. // Сварочное производство, 1984, №9, с. 22-23.
27. Краснопевцева И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта производственно-технологического характера для студентов специальности 150700.02.65 и направления подготовки 15.03.01 / И. В. Краснопевцева. — Тольятти: ТГУ, 2015. — С.3-22.