



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология сварочного производства
Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния параметров режима лазерной сварки на геометрические размеры шва

УДК 621.791.725.015.053:621.644

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Балашова Ксения Алексеевна		03.06.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина А.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ ШБИП	Трубченко Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина А.А.	К.Т.Н.		

Результаты освоения образовательной программы по направлению 15.03.01 Машиностроение

	Результат обучения
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире; умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении, приборостроении и др. областях, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования продукции.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на машиностроительных и строительно-монтажных производствах.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, строительно-монтажного комплекса и в отраслевых научных организациях, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований
P7	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий производств.

P8	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы, составлять и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P9	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий сварочного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества сварных швов и сварных конструкций
P10	Способность осваивать вводимое новое сварочное оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования и конструкций объектов, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология сварочного производства
Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ 06.02.2020 Першина А.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Балашовой Ксении Алексеевне

Тема работы:

Исследование влияния параметров режима лазерной сварки на геометрические размеры шва	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.01.2020 № 9–31/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Процесс импульсной лазерной сварки циркониевого сплава Э110. Определение влияния энергетических параметров режима сварки на ширину шва.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Основной материал конструкции 3. Выбор сварочного оборудования 4. Расчет режимов сварки 5. Технология лазерной сварки образцов и сплава Э110

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Демонстрационный материал
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Основной материал конструкции	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Выбор сварочного оборудования	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Расчет режимов сварки	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Технология лазерной сварки образцов и сплава Э110	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Т.Г., к.э.н., доцент ОСНГ
Социальная ответственность	Гуляев М.В., старший преподаватель ООД

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		05.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Балашова К.А.		05.02.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология сварочного производства

Уровень образования высшее

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

Период выполнения весенний семестр 2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.02.2020	1. Обзор литературы	15
05.03.2020	2. Основной материал конструкции	10
30.03.20XX	3. Выбор сварочного оборудования	10
10.04.20XX	4. Расчет режимов сварки	15
25.04.20XX	5. Технология лазерной сварки образцов из сплава Э110	10
10.05.2020	6. Социальная ответственность	15
20.05.2020	7. Финансовый менеджмент	15
01.06.20XX	6. Заключение	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина А.А.	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Балашовой Ксении Алексеевны

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование влияния параметров режима лазерной сварки на геометрические размеры шва	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является исследование влияния параметров режима лазерной сварки на геометрические размеры шва. Используется аппарат для лазерной сварки ЛТА-4-2.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: – недостаточная освещенность; – неблагоприятные условия микроклимата; – электроопасность; – лазерное излучение.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. Решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Балашова Ксения Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Балашовой Ксении Алексеевне

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> 	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> 3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности исследования</i> 	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета Определение эффективности исследования
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Морфологическая матрица
4. Временные показатели проведения научного исследования
5. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Доцент, к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Балашова Ксения Алексеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 74 с., 4 рис., 27 табл., 48 источников.

Ключевые слова: лазерная сварка, циркониевые сплавы, тепловыделяющая сборка, дистанцирующая решетка.

Объектом исследования является процесс лазерной сварки пластин из циркониевого сплава Э110, толщиной 0,5 мм.

Цель работы – разработка технологии лазерной сварки модельных стыковых соединений листов толщиной 0,5 мм из циркониевого сплава Э110.

Полученные результаты позволили определить оптимальные режимы и сформулировать направление дальнейших исследований по данной теме.

Область применения: атомная промышленность.

Список основных обозначений и сокращений

ТВС – тепловыделяющая сборка

АЗ – активная зона

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент

ДР – дистанцирующая решетка

ЗТВ – зона термического влияния

T – температура металла на глубине, К

A_{ef} – коэффициент поглощения энергии

E – энергия импульса, Дж

τ – длительность импульса, с

S – площадь фокального пятна, мм

α – температуропроводность металла

$ierfc(x)$ – функция интеграла вероятности

λ – теплопроводность металла

Оглавление

Введение	14
1 Обзор литературы.....	16
1.1 Сварка циркониевых сплавов	16
1.2 Специфика лазерной сварки	19
1.2.1 Типы и устройство лазеров.....	20
1.2.2 Nd:YAG-лазер.....	22
2 Основной материал конструкции	24
3 Выбор сварочного оборудования	27
3.1 Лазерная установка ЛТА-4-2	27
4 Расчёт режимов сварки	29
4.1 Параметры импульсной лазерной сварки	29
4.2 Расчет параметров режима лазерной сварки через уравнение теплопроводности	31
5 Технология лазерной сварки образцов из сплава Э110.....	34
5.1 Размеры сварочных образцов	34
5.2 Подготовка образцов под сварку.....	35
5.3 Защита зоны сварки.....	35
5.4 Деформации, напряжения и дефекты, возникающие при лазерной обработке	36
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	37
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	37
6.2 Анализ конкурентных технических решений.....	38
6.3 SWOT – анализ	40
6.4 Планирование научно-исследовательских работ	43
6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	43
6.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	44
6.4.3 Разработка графика проведения научного исследования	44
6.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	48
6.5.1. Расчет материальных затрат НТИ	48

6.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование	49
6.5.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	50
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды	51
6.5.5 Накладные расходы.....	52
6.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	52
6.6 Вывод	53
7 Социальная ответственность	55
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	55
7.2 Производственная безопасность	56
7.2.1 Недостаточная освещенность	57
7.2.2 Неблагоприятные условия микроклимата	58
7.2.3 Электроопасность.....	60
7.2.4 Лазерное излучение.....	61
7.3 Экологическая безопасность	63
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	64
7.4.1 Пожарная безопасность	64
7.5 Вывод	66
Заключение	67
Список литературы	68
Приложение А	73

Введение

В числе приоритетных задач, решаемых проектом российской атомной станции нового поколения – АЭС 2006, находятся минимизация рисков и обеспечение требуемого уровня безопасности. Тепловыделяющие сборки (ТВС) являются основными барьерами защиты атомных электростанций от аварий. Основной упор делается на исследования в направлении повышения эксплуатационных характеристик именно этих конструкций. Существенную роль в обеспечении надежности ТВС играют сварные соединения, эксплуатационные свойства которых во многом определяются наличием в сварном шве и зоне термического влияния загрязнений, остаточных напряжений и закалочных структур. Наиболее широко используемыми конструкционными материалами для изготовления тепловыделяющих сборок ядерных реакторов являются циркониевые сплавы.

К сварным соединениям тепловыделяющих сборок предъявляют требования по прочности, коррозионной стойкости, жаростойкости, способности выдерживать вибрационные и ударные нагрузки определенное количество теплосмен, без разрушения в процессе эксплуатации.

Цирконий, имеющий уникальные свойства, такие как прочность, высокая коррозионная стойкость и нейтронная прозрачность, стал незаменимым конструкционным материалом для активных зон (АЗ) ядерных реакторов. Тепловыделяющая сборка – изделие, содержащее делящиеся вещества и предназначенное для получения тепловой энергии в ядерном реакторе за счёт осуществления управляемой ядерной реакции. Тепловыделяющие элементы ТВЭЛы, расположенные между опорными узлами ТВС, имеют длину около 4 м при диаметре 9 мм и обладают практически нулевой осевой жесткостью. Для того, чтобы иметь достаточно жесткую конструкцию пучка ТВС, ТВЭЛы позиционируются относительно друг друга с помощью дистанционирующих решеток (ДР). Решетка представляет собой набор ячеек толщиной 0,25 мм, приваренных друг к другу и заключенных в обод. Тепловыделяющий элемент

(ТВЭЛ), содержащий ядерное топливо, является главным конструкционным элементом АЗ реактора.

В связи с приоритетом на увеличение безопасности, перспективные виды ТВС могут иметь отличную конструкцию от уже существующих. Соответственно, традиционные способы сварки элементов тепловыделяющих сборок могут потерять свою актуальность и представляется необходимым своевременная разработка новых технологий соединения элементов ТВС.

Целью данной работы является разработка технологии получения неразъёмного соединения двух пластин толщиной 0,5 мм (Приложение А).
Материал – сплав Э110. Тип соединения - стыковое (С2).

Необходимое требование – обеспечить полное проплавление свариваемых пластин по всей длине конструкции в месте сварки.

1 Обзор литературы

1.1 Сварка циркониевых сплавов

К конструкционным материалам, из которых возможно изготовление дистанционирующих решеток, предъявляют довольно высокие требования:

- минимальный паразитный захват нейтронов;
- механическая надежность, постоянство формы и размеров;
- высокая теплопроводность, обеспечивающая длительную теплопередачу без чрезмерно высоких термических напряжений в оболочке;
- коррозионная и эрозионная стойкость оболочки в теплоносителе и в контакте с ядерным горючим ТВЭЛа.

Из материалов, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям, наиболее широко для изготовления элементов атомных реакторов применяются циркониевые сплавы и нержавеющие стали [1].

В наиболее широко распространенных ЯР на тепловых нейтронах – водородных, а также в судовых ядерных энергетических установках, работающих при температуре до 300 .. 350 °С, используют циркониевые сплавы: Э110, Э125 и Э635 (Россия); Zircaloy-2, Zircaloy-4 и ZIRLO (США); Zr-2.5%Nb (Канада, Германия); М4 и М5 (Франция); MDA и NDA (Япония), HANA (Корея) и др. [2-9].

Несмотря на довольно длительное исследование циркония и использование его сплавов в ядерной энергетике [10, 11], количество работ, посвященных оптимизации технологии изготовления деталей ТВС ЯР, а также изменений в них, происходящих при эксплуатации, не уменьшается. Это связано с тем, что с развитием реакторостроения увеличиваются параметры ЯР, оказывающие значительное влияние на элементы ТВС: плотность нейтронного потока, спектр нейтронов, снимаемая мощность – теплонапряженность, температура, гарантированный ресурс работы и т. д. Существенную роль в обеспечении надежности элементов ТВС играют сварные соединения, эксплуатационные свойства которых во многом определяются наличием в

сварном шве и зоне термического влияния (ЗТВ) загрязнений, остаточных напряжений и закалочных структур [2].

Во второй половине прошлого века были приведены данные о хорошей свариваемости циркония при дуговой и контактной сварке. Говорилось, что электроконтактной сваркой можно соединять циркониевые сплавы не только друг с другом, но и с медью, нержавеющей и малоуглеродистой сталью, а также иными металлами. Основным критерием обеспечения качества сварных соединений выступали пластичность и коррозионная стойкость, а основным требованием к технологии сварки было обозначено применение защитного газа [10, 11].

Диффузионная сварка циркония с другими металлами не дала положительных результатов как в вакууме, так и в инертной атмосфере из-за формирования хрупких интерметаллических соединений. По этой же причине неудачей завершились попытки разработать технологию пайки.

Позднее помимо дуговой и контактной сварки циркония, стали осуществлять микроплазменную [12]. Особую актуальность имела технология создания биметаллических соединений, так как конструкции активных зон ядерных реакторов того времени состояли из циркониевых сплавов и нержавеющей стали одновременно [13]. Однако возникла проблема ухудшения прочностных свойств при повышенных температурах вследствие образования на границе раздела металлов хрупких интерметаллических прослоек. Решить ее не удалось ни диффузионной сваркой, ни сваркой взрывом, ни совместным горячим прессованием.

К 1980-м годам электронно-лучевая сварка стала одним из основных способов соединения циркониевых сплавов, при этом достаточно широко использовали точечную, роликовую и диффузионную сварку. В 1990-х годах применяли сварку неплавящимся электродом в аргоне и гелии [14, 17-19], диффузионную [15], контактную стыковую [16, 17], электронно-лучевую и лазерную [17].

За последние годы количество публикаций, посвященных оптимизации технологии сварки элементов ТВС значительно увеличилось. Потому как с одной стороны ведутся работы по увеличению кампании ядерного топлива, с другой – количество ТВЭЛов с заводскими дефектами сварных соединений еще далеко от нулевого значения [20]. Поэтому представляется актуальной задачей совершенствование технологии изготовления топливных сборок (в том числе сварки и пайки).

Большинство работ направлены на исследования и модернизацию технологий, используемых для изготовления ДР. В связи с постоянным усовершенствованием конструкций решеток, контактная точечная сварка, долгое время являющаяся наиболее распространенным способом для их производства, теряет свою актуальность. Среди возможных процессов, способных прийти ей на смену, представляется лазерная сварка. При чем все имеющиеся публикации связаны со сваркой сплава Zircaloy [24-30]. Исследований по лазерной сварке Э110 и других отечественных сплавов циркония с ниобием нет совсем. Соответственно, представляется актуальным данное направление ведения научных работ.

1.2 Специфика лазерной сварки

Лазерная сварка относится к термическому классу процессов, в которых местным расплавлением материалов, с последующей кристаллизацией расплава достигается получение неразъемного соединения. При затвердевании расплава между атомами материалов устанавливаются прочные химические связи, соответствующие природе соединяемых материалов и типу их кристаллической решетки [21].

При облучении поверхности тела светом часть энергии квантов поглощается этой поверхностью. Если световую энергию сконцентрировать на малом участке поверхности, можно получить высокую температуру. Процесс происходит по следующей схеме: в фокусирующей системе излучение формируется в пучок меньших размеров, затем попадает на свариваемые детали, где происходит его частичное отражение и частичное поглощение внутрь материала, что вызывает нагрев и плавление последнего. На этом основана сварка световым лучом оптического квантового генератора – лазера. По сравнению с другими способами, лазерная сварка обладает рядом преимуществ. Плотность мощности луча лазера значительно выше, чем у дуги или плазмы и практически эквивалентна электронному лучу. Но по сравнению с электронно-лучевой сваркой лазерная не требует вакуумных камер. Соответственно, с помощью лазерной сварки можно сформировать глубокую и узкую область проплавления. Среди всех сварочных процессов лазерная сварка способна реализовать самые разнообразные соединения металлов и пластиков [22] толщиной от 0,01 до 50 мм. Помимо вышеперечисленных, данный способ обладает следующими преимуществами [23]:

- небольшая зона термического влияния (ЗТВ);
- высокопрочные сварные швы;
- легко автоматизируется;
- возможность сваривания разнородных материалов;
- как правило, не требует присадочного материала или флюса.

К недостаткам лазерной сварки следует отнести:

- дорогое оборудование;
- высокие требования к качеству сборки соединения (зазор не более 0,1-0,25 мм).

1.2.1 Типы и устройство лазеров

В таблице 1 представлены типы и характеристики лазеров, которые используются для процесса сварки.

Таблица 1 – Типы лазеров и их характеристики

Тип лазера	Характеристики лазера				Средняя мощность, кВт
	Длина волны, мкм	Вещество рабочего тела	Характер излучения		
			PW	CW	
CO ₂ – лазер	10,6	газовая смесь CO ₂ -N ₂ -He (газ)	+	+	50
YAG – лазер с ламповой накачкой	1,06	Nd:YAG (твердое тело)		+	10
Лазерный диод	0,8-1,1	InGaAsP (твердое тело)		+	10
Твердотельный лазер с накачкой лазерными диодами	1,064	Nd:YAG (твердое тело)	+	+	6,0..13,5
Дисковый лазер	1,03	Yb:YAG или Yb:YVO (твердое тело)		+	16
Волоконный лазер	1,064	Yb:SiO (твердое тело)		+	100

PW – pulse welding, импульсное излучение; CW – continuous welding, непрерывное излучение.

Основные компоненты, входящие в состав лазера – это рабочая среда, способная при приложении к ней энергии возбуждения генерировать излучение и усиливать свет, а также резонатор, который обеспечивает усиление интенсивности излучения за счет многопроходного отражения света через рабочую среду. Резонатор образуется передними и задними зеркалами: через частично пропускающее переднее зеркало проходит часть света, которая превращается в выходное лазерное излучение и составляет пучок, используемый для сварки. Для CO₂-лазера рабочая среда представляет собой газовую смесь (в основном гелий, азот и диоксид углерода), а энергия возбуждения, которая обеспечивает приращение энергии входного сигнала, поступает из электрического разряда, пропускаемого через газ. Длина волны излучения составляет 10,6 мкм. Для твердотельного лазера усиливающей средой, как правило, является стержень YAG (алюмоиттриевый гранат), легированный примерно 1% атомов Nd (ниодима), а энергию возбуждения обеспечивает широкополосный свет от пульсирующей лампы-вспышки. Длина волны выходного лазерного излучения 1,064 мкм. Для волоконного лазера усиливающей средой является стекловолокно, легированное иттербием. Накачка достигается введением в усиливающую рабочую среду света от лазерных диодов. Волоконные лазеры, как правило, генерируют излучения в диапазоне длин волн от 1,07 мкм до 1,09 мкм, при этом физические размеры активной среды для волоконных лазеров сильно отличаются от размеров рабочего тела других типов лазеров. Так, если стержень Nd:YAG может быть длиной 200 мм, газоразрядная трубка CO₂-лазера – длиной около 2 м, то усиливающее волокно в волоконном лазере будет составлять десятки метров. Отражатели, используемые в волоконном лазере, тоже отличаются от тех, что используются в традиционных лазерах. Обычно это зеркало, представляющее собой подложку с комбинацией диэлектрических покрытий, определяющих пропускание и длину волны лазера. В волоконном же лазере используются встроенные дифракционные решетки, впечатанные в сердцевину волокна.

В промышленности наиболее широкое применение нашли твердотельные Nd:YAG-лазеры и газовые CO₂-лазеры [21, 23]. Выбор типа лазера зависит от свариваемого материала, скорости сварки и требований к глубине проплавления.

Так как толщина свариваемых пластин равна 0,5 мм, их следует сваривать в импульсном режиме, поэтому выбираем Nd:YAG-лазер. CO₂-лазер предусматривает только непрерывный характер излучения.

1.2.2 Nd:YAG-лазер

Более подробно рассмотрим данный тип лазера, так как именно он используется в установке, на которой будет проводиться эксперимент.

Благодаря своей эффективности, выходной мощности и надежности по сравнению с другими твердотельными лазерами этот лазер нашел широкое применение в промышленности.

Стержень кристалла получают выращиванием по методу Чохральского [31], как правило они составляют в диаметре 6 мм и 100 мм в длину. Из-за небольшого размера кристаллов конструкции Nd:YAG-лазера, как правило, гораздо более компактные, чем CO₂-лазеры. Лазерная генерация достигается при оптическом возбуждении кристалла лампами, расположенными в непосредственной близости от него. Спектр их излучения – от 700 до 800 нм – перекрывает полосы поглощения кристалла. Для того, чтобы увеличить ввод света от ламп в стержень и соответственно извлечь максимальную мощность, стержень и лампу заключают в специально спроектированные и изготовленные резонаторы. Такой узел называют квантроном. Внутренняя поверхность резонатора обычно покрыта золотом, что способствует максимальному взаимодействию света лампы со стержнем. Некоторые производители лазеров делают керамические резонаторы, которые обеспечивают более равномерную накачку стержня, но при этом теряют в эффективности около 5%.

Для излучения в непрерывном режиме, наиболее широко используют дуговые лампы на криптоне, в то время как для импульсного режима

используются лампы-вспышки, заполненные ксеноном при высоком давлении и криптоном.

Только часть излучаемого света поглощается кристаллом, остальная его часть рассеивается в виде тепла в резонаторе и для эффективной работы лазера должна быть удалена. Обычно это достигается путем охлаждения при пропускании деионизированной воды вокруг стержня и лампы в закрытом контуре системы охлаждения, который соединен с теплообменником для эффективного отвода тепла.

Электропитание импульсных Nd:YAG-лазеров предназначено для получения высоких пиковых мощностей во время одного лазерного импульса, и эти лазеры не имеют возможности работать в непрерывном режиме (CW) генерации излучения. Импульсный режим (PW) подразумевает, что активная среда лазера возбуждается очень быстро в ответ на внешнее стимулирующее воздействие. Это позволяет лазеру передавать избыток энергии в течение короткого промежутка времени (порядка миллисекунд). Пиковая мощность импульса может быть выше в 30 раз максимальной средней мощности. Это позволяет лазерам с низкой и средней мощностью достигать в импульсе энергии, достаточной, чтобы нагреть обрабатываемые материалы до температур испарения. Если большинство лазеров CW оценивают по параметрам их излучения, то при оценке импульсных лазеров необходимо учитывать энергию импульса, пиковую мощность, длительность импульса и частоту.

2 Основной материал конструкции

В отечественном реакторостроении оболочки ТВЭЛов обычно изготавливаются из циркониевого сплава Э110.

На рисунке 1 приведена диаграмма состояния системы цирконий-ниобий, построенная при медленных скоростях нагрева и охлаждения.

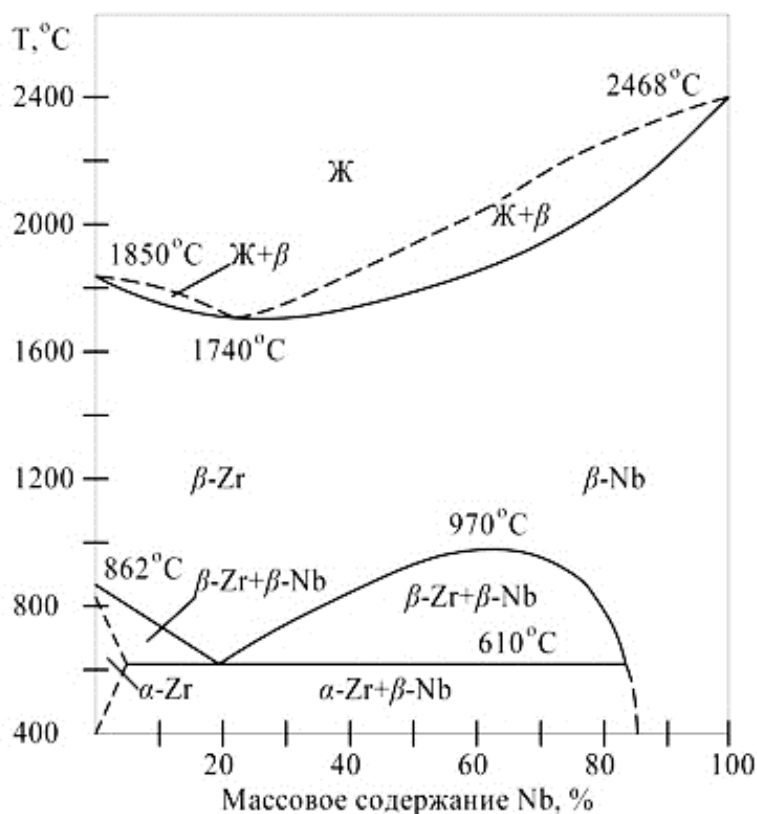


Рисунок 1 – Диаграмма состояния цирконий-ниобий [2]

При комнатной температуре бинарные сплавы циркония, применяемые в атомной энергетике, с массовым содержанием ниобия до 5,0% состоят из смеси α -твердого раствора ниобия в цирконии с гексагональной плотноупакованной решеткой и β -твердого раствора циркония, имеющего ОЦК решетку, в ниобии, с содержанием последнего $\approx 85\%$ [33]. В сплаве Zr– 1% Nb основой является α -фаза, что, по характеру текстуры и анизотропии, приближает этот сплав к чистому цирконию, который в значительной степени меняет свою текстуру в процессе обработки давлением.

Легирование циркония 1% ниобия (сплав Э110) определяется следующими причинами [2, 32]:

- ниобий обладает небольшим сечением захвата нейтронов, поэтому при добавлении его в количестве 1% сечение захвата сплава повышается незначительно;
- под влиянием 1% ниобия стабилизируется коррозионная стойкость нелегированного циркония (однако, с увеличением содержания ниобия, коррозионная стойкость падает), устраняется вредное влияние таких примесей, присутствующих в чистом цирконии, как кремний (до 0,4%), никель (до 0,18%), железо (до 0,3%), углерод, алюминий, титан;
- ниобий эффективно снижает долю водорода, поглощаемую циркониевым сплавом.

Содержание легирующих элементов в циркониевом сплаве Э110 приведено в таблице 2, механические свойства – в таблице 3, теплофизические свойства – в таблице 4.

Таблица 2 – Содержание легирующих элементов в сплаве Э110, % [34]

O	N	Cu	Ti	Fe	Ni	Cr	Ca	F	C	Si	Al
0,07	0,006	0,003	0,004	0,021	0,11	0,002	0,03	0,0009	0,17	0,012	0,004

Таблица 3 – механические свойства сплава Э110 при 20°C [34]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
372	204	32

- σ_B – временное сопротивление разрыву;
- σ_T – предел текучести;
- δ – относительное удлинение.

Таблица 4 – теплофизические свойства сплава Э110 при 20°С [2]

ρ , г/см ³	$T_{пл}$, К	$T_{кип}$, К	c , Дж/(кг·К)	λ , (Вт/м·К)
6,5	2128	4682	291	20,96

- ρ – плотность;
- $T_{пл}$ – температура плавления;
- $T_{кип}$ – температура кипения;
- c – удельная теплоемкость;
- λ – удельная теплопроводность.

Зависимость коррозионных свойств сплава Э110 от режима термообработки является его основным недостатком. В процессе высокотемпературной закалки или при старении после закалки может образовываться метастабильная ω -фаза, имеющая нестабильную и часто низкую коррозионную стойкость. Это обстоятельство не позволяет использовать возможности системы Zr-Nb для получения высокой прочности сплавов и ограничивает использование сплавов для реакторных целей только в равновесном состоянии путем термообработки в температурной области существования α -фазы (до 600 °С) после холодной обработки давлением [2, 32].

3 Выбор сварочного оборудования

Для проведения процесса лазерной сварки пластин из сплава Э110 необходима лазерная установка, которая выбирается исходя из её технических характеристик. Доступными вариантами на данный момент являются лазерные аппараты ЛТА-4-2 и Квант-15. В таблице 5 приведено сравнение технических данных установок ЛТА-4-2 и Квант-15 [35, 36].

Таблица 5 – Технические характеристики ЛТА-4-2 и Квант-15

Параметры оптической системы		
	ЛТА-4-2	Квант-15
Фокусное расстояние объектива, мм	100	100
Рабочий диапазон длин волн объективов, мкм	1,064	1,06
Размер пятна излучения в зоне обработки, мм	0,2-2	0,3-1,3
Параметры лазера		
Длина волны излучения, мкм	1,064	1,06
Частота следования импульсов излучения, Гц	до 150	до 35
Длительность импульсов, мсек, регулируемая в пределах	2-20	1,5; 2; 4; 5
Максимальная средняя мощность излучения, Вт	до 250-300	до 150-200
Энергия импульса излучения, Дж	до 100	до 15

Из таблицы 5 видно, что установка ЛТА-4-2 обладает более высокими энергетическими характеристиками. Это обеспечивает широкий выбор необходимых режимов сварки, а значит и качество эксперимента.

3.1 Лазерная установка ЛТА-4-2

Установка включает твердотельный Nd:YAG лазер с блоками питания и охлаждения, оптическую систему с силовым и визуальным каналами и

регулируемым положением по высоте относительно предметного стола, а также пульт управления, газо-пневмосистему и педаль управления.

Для визуального контроля за зоной обработки используется телевизионная система наблюдения с ТВ-монитором. Обрабатываемое изделие размещается на рабочем столе и перемещается относительно неподвижного светового пятна излучения в X-Y плоскости. Излучатель и оптическая система может перемещаться в вертикальном Z-направлении с помощью ручного или автоматизированного привода.

В установке предусмотрена защита фокусирующей оптики путем автоматизированной подачи защитных или вспомогательных газов в зону сварки с помощью гибких шлангов с соплами, что улучшает качество сварного шва. Энергия, частота повторения и длительность импульса могут варьироваться в широких пределах.

Управление установкой осуществляется при помощи микропроцессорного пульта, обеспечивающего задание параметров лазера и управление приводами оснасток и вращателей.

4 Расчёт режимов сварки

Режимом сварки называют совокупность основных и дополнительных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварных швов заданных размеров, формы и качества.

4.1 Параметры импульсной лазерной сварки

При импульсном режиме определяющими энергетическими параметрами являются энергия импульса E , его длительность τ , частота следования f и пиковая мощность P :

$$P = \frac{E}{\tau}.$$

Энергия импульса является основным параметром процесса. Она определяет количество теплоты, выделяемое в зоне сварки. При малых значениях энергии импульса диаметр сварочной ванны может быть меньше диаметра лазерного луча d вследствие неравномерного распределения температуры на поверхности. Ее повышение увеличивает как глубину проплавления, так и диаметр сварочной ванны до значений $(1.25 \dots 1.50) \cdot d$. При чрезмерных значениях энергии импульса возникает реактивное давление отдачи паров приводящее к формированию геометрических дефектов сварных швов. При сварке тонкостенных деталей со сквозным проплавлением повышается вероятность прожогов. Кроме того, происходит нарушение защиты зоны сварки инертными газами и окисление поверхности. Как следствие, ее поглощательная способность увеличивается. Это приводит к дальнейшему росту выделяемой энергии и еще большему ухудшению качества сварного соединения. Следует отметить, что с целью увеличения глубины проплавления без перечисленных негативных тенденций рекомендуют использовать модулированные импульсы трапецеидальной или треугольной формы с относительно крутым передним и пологим задним фронтом. При оптимальных параметрах режима сварки

существует возможность обеспечить быстрый нагрев поверхности до необходимой температуры. Затем она поддерживается на требуемом уровне до конца импульса за счет плавного уменьшения количества вводимой энергии. При этом происходит распространение тепла вглубь металла за счет теплопроводности, а на поверхности возможно плавное протекание металлургических реакций без интенсивного испарения, повышенного реактивного давления отдачи струи пара и иных неравновесных процессов [37, 38].

Длительность импульса определяет время воздействия лазерного излучения на металл. Диапазон оптимальных значений данного параметра зависит от энергии импульса, конфигурации соединения, материала и толщины свариваемых деталей. Относительно небольшие значения данного параметра необходимы для сварки металлов со значительными коэффициентами отражения и высокой теплопроводностью. В иных случаях велика вероятность выплесков металла из-за слишком быстрого ввода энергии. Повышение длительности импульса позволяет дольше поддерживать температуру металла выше точки плавления. Это увеличивает количество удаленных из сварочной ванны нерастворенных газов и уменьшает вероятность образования пористости при кристаллизации. С другой стороны, повышается доля энергии, теряемая за счет теплопроводности и, соответственно, увеличивается размер зоны термического влияния (ЗТВ). Максимальное проплавление без выплеска достигается подбором оптимального сочетания повышенных значений длительности импульса и пониженной плотности мощности [37,38].

Частоту следования импульсов следует задавать с учетом специфики формирования сварных швов. За время действия импульса происходит сплавление деталей в одной точке. Затем, вследствие перемещения деталей или сварочной головки, место воздействия лазерного луча на поверхность сдвигается. Следующий импульс снова приводит к расплавлению металла, при этом значительная часть энергии тратится на очередной нагрев части предыдущей сварной точки.

Коэффициент перекрытия соседних точек OL является важным критерием, влияющим на качество сварных швов. Он выражается в процентах и определяется скоростью сварки V , диаметром луча d и частотой следования импульсов f следующим соотношением:

$$OL = \frac{d - V/f}{d} \cdot 100\% .$$

4.2 Расчет параметров режима лазерной сварки через уравнение теплопроводности

Теория теплопроводности основана на дифференциальном уравнении теплопроводности. Физический смысл его заключается в том, что им связывается пространственное распределение температуры с изменением ее во времени. Одним из основных методов решения уравнения теплопроводности является метод преобразования Лапласа.

Рассмотрим одномерный случай лазерной поверхностной обработки материала короткими импульсами. Данный случай описывается выражением [37]:

$$T = \frac{2 \cdot A_{ef} \cdot \frac{E}{\tau \cdot S} \cdot \sqrt{\alpha \tau} \cdot ierfc(x)}{\lambda} ,$$

T – температура металла на глубине, К;

A_{ef} – коэффициент поглощения энергии;

E – энергия импульса, Дж;

τ – длительность импульса, с;

S – площадь фокального пятна, мм;

α – температуропроводность металла,;

$ierfc(x)$ – функция интеграла вероятности;

λ – теплопроводность металла.

Чтобы подобрать оптимальные значения параметров E и τ , нужно достигнуть температуры плавления на поверхности металла (2128 К). Температура на поверхности определяется по формуле [37]:

$$t = \frac{2 \cdot A_{ef} \cdot \frac{E}{\tau \cdot S} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \tau}{\pi}}}{\lambda}$$

С помощью программы Mathcad было найдено несколько вариантов значений энергии и длительности импульса. Пример расчета представлен на рисунке 2.

$$\begin{aligned}
 S &= 7.854 \times 10^{-7}, \text{ м} \\
 \rho &:= 6500, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\
 \lambda &:= 21, \frac{\text{Вт}}{\text{мК}} \\
 c &:= 291, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \\
 \alpha &:= \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \\
 \alpha &= 1.11 \times 10^{-5}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \\
 A_{ef} &:= 0.13 \\
 \tau &:= 0.014, \text{ с} \\
 E &:= 8.68, \text{ Дж} \\
 z &:= 0.5 \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 x &:= \frac{z}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot \tau}} \\
 x &= 0.634 \\
 \text{erf}(x) &= 0.63 \\
 \text{erfc}(x) &:= 1 - \text{erf}(x) \\
 \text{erfc}(x) &= 0.37 \\
 \text{ierfc}(x) &:= -(x \cdot \text{erfc}(x)) + \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \right) \cdot e^{-x^2} \\
 \text{ierfc}(x) &= 0.143 \\
 T &:= 2 \cdot \frac{A_{ef} \cdot \frac{E}{\tau \cdot S} \cdot \sqrt{\alpha \cdot \tau} \cdot \text{ierfc}(x)}{\lambda} \quad t := 2 \cdot \frac{A_{ef} \cdot \frac{E}{\tau \cdot S} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot \tau}{\pi}}}{\lambda} \\
 T &= 550.52, \text{ К} \quad t = 2.174 \times 10^{-3}, \text{ К}
 \end{aligned}$$

Рисунок 2 – Пример расчета в программе Mathcad для энергии импульса $E =$

8,68 Дж, длительности импульса $\tau = 0,014$ с

Результаты всех расчетов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры режима лазерной сварки

Энергия импульса E , Дж	Длительность импульса τ , с	Температура на поверхности металла, К
8,68	0,014	2174
9,8		2300
10,2		2505
10	0,016	2343
	0,018	2209
	0,020	2150

На рисунке 3 (а,б) представлена предположительная зависимость ширины шва от энергетических параметров режима сварки.

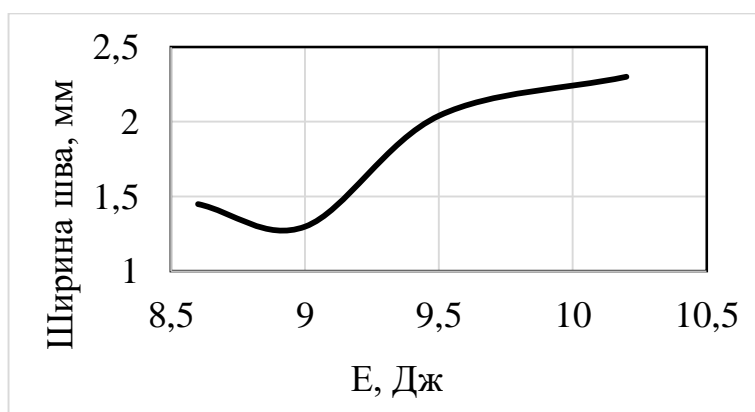


Рисунок 3 (а) – Зависимость ширины шва от энергии импульса

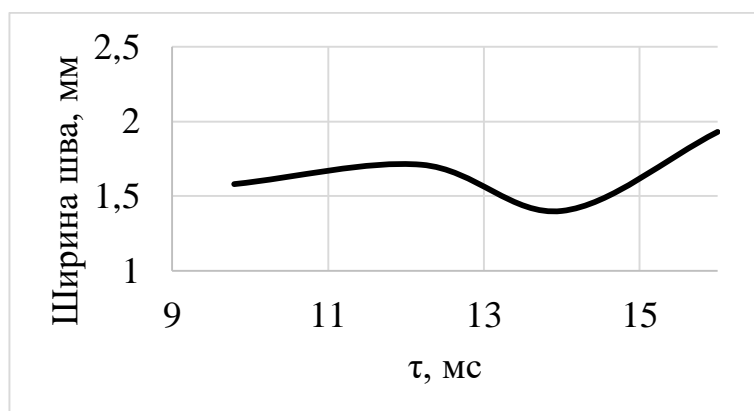


Рисунок 3 (б) – Зависимость ширины шва от длительности импульса

5 Технология лазерной сварки образцов из сплава Э110

5.1 Размеры сварочных образцов

При выборе размеров свариваемых пластин следует учитывать последующие механические испытания. Для определения предела прочности и места разрушения образца проводятся испытания на растяжение поперек сварного шва. Размеры испытуемых образцов определяются в соответствии с ГОСТ Р ИСО 4136 – 2009 (рисунок 4, таблица 7).

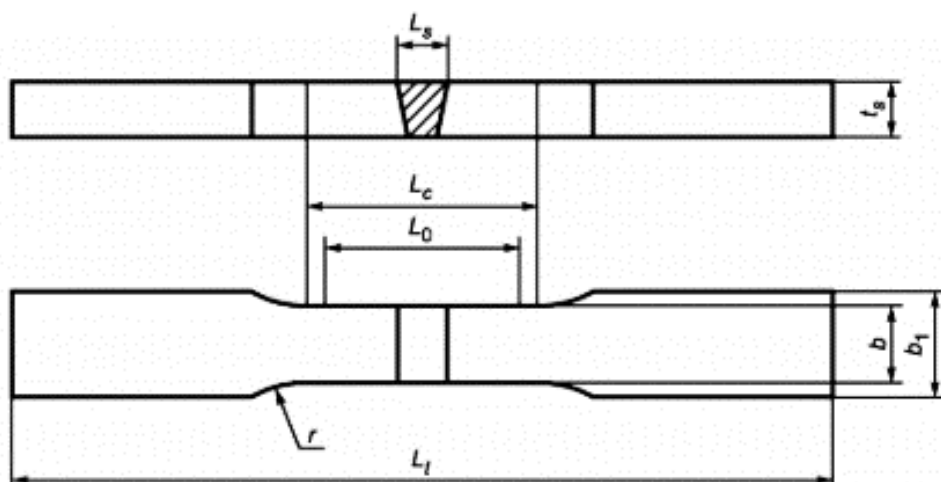


Рисунок 4 – Образцы для испытания на растяжение

Таблица 7 – Размеры испытуемых образцов

Наименование размера	Символ	Размеры, мм
Общая длина	L_t	Соответствие особенностям разрывной машины
Ширина захватной части	b_1	$b+12$
Ширина рабочей части	b	12
Длина рабочей части	L_c	$\geq L_s+60$
Радиус перехода от рабочей части к захватной	r	≥ 25

При проведении эксперимента следует использовать образцы 240x30 мм для последующей вырезки под определенные с помощью таблицы 7 размеры.

5.2 Подготовка образцов под сварку

Для обеспечения зазора, максимальное значение которого составляет 0,1 мм [22, 23], свариваемые поверхности требуется обработать на фрезерном станке с высокой точностью. Далее пластины необходимо очистить от грязи, жира и оксидов. В работах [39, 40, 41] для образцов из Zircaloy-4 используется ультразвуковая очистка в течение 30 минут, с ацетоном в качестве моющей жидкости. Допускается ручная очистка ацетоном или метанолом с помощью материала, не оставляющего частиц в зоне сварки [23]. Чтобы избежать сварочных брызг и образования пор по время процесса сварки, остатки чистящих веществ должны быть тщательно удалены. [22].

5.3 Защита зоны сварки

Циркониевые сплавы относятся к категории химически активных металлов и при нагреве до 300 °С уже поглощают газы из атмосферы, поэтому необходимо уделять повышенное внимание защите зоны сварки, корня шва и зоны термического влияния инертными газами максимально высокой степени чистоты. Однако в литературе отсутствуют обоснованные требования к их составу (Ar, He или их смесь), скорости потока и конфигурации сопел. Хотя известно, что эти параметры оказывают значительное влияние на процесс лазерной сварки и свойства соединений. Основными требованиями, предъявляемыми к системе подачи защитного газа, являются эффективное снижение экранирующего действия плазменного факела, полное вытеснение воздуха из зоны сварки и максимально возможное удаление образующихся паров и брызг, а также предотвращение окисления металла и формирования внутренних дефектов в виде пор, раковин, газовых включений и т. п.

При проведении эксперимента защита зоны сварки от загрязнения из атмосферы будет обеспечиваться с двух сторон соплами диаметром 10 мм, с использованием аргона чистотой >99,993%.

5.4 Деформации, напряжения и дефекты, возникающие при лазерной обработке

Основной проблемой импульсной лазерной сварки сплава Э110 по предложенной технологии может стать наличие микротрещин, видимых только под микроскопом. Для лазерной сварки характерна очень высокая скорость охлаждения металла и узкая зона возможной пластической деформации. В случае, если количество вводимой энергии будет меньше оптимального диапазона значений, скорость охлаждения превысит допустимый предел и сформируется хрупкая закалочная мартенситная структура с высокими остаточными напряжениями. Изменение параметров режима сварки в сторону увеличения количества вводимой энергии может позволить формировать металл шва со структурой, характеризующейся значительно меньшим количеством мартенсита и микротвердостью на уровне основного металла. Однако количество вводимой энергии выше оптимальных значений может привести к формированию мартенситной структуры с повышенной микротвердостью, а также микротрещин вдоль шва, что приведет к вязко-хрупкому разрушению сварного шва.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для анализа конкурентоспособности, ресурсоэффективности и расчёта бюджета проводимого эксперимента. Настоящая работа проводится на установке для лазерной сварки ЛТА-4-2 (АО «НПЦ «Полюс») и предполагает исследование эффективности способа решения поставленной инженерной задачи. Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В качестве критериев, по которым будет производиться сегментирование рынка, целесообразно выбрать размер компании и выпускаемую продукцию. Карта сегментирования рынка представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка

		Выпускаемая продукция	
		ТВС	Полупроводниковые приборы
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		


 ■ НЗХК ▨ АО «ЗПП» ▩ Элемаш ▧ НЗПП с ОКБ

Как видно из таблицы 8, наиболее перспективным сегментом в отраслях производства ТВС и полупроводниковых приборов для формирования спроса является сегмент мелких и средних предприятий.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. В настоящий момент единственным конкурентом разрабатываемой в данной работе технологии является контактная точечная сварка. В таблице 9 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства катализаторов Фишера–Тропша.

Таблица 9 – Оценочная карта

Критерии	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии катализатора					
Повышение производительности	0,3	5	4	1,5	1,2
Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Безопасность	0,1	4	3	0,4	0,3
Простота эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена	0,2	4	4	0,8	0,8
Срок выхода на рынок	0,1	3	5	0,3	0,5
Финансирование научной разработки	0,1	3	5	0,3	0,5
Итого	1	27	28	4,1	4,0

Б_ф – технология, разрабатываемая в ходе исследовательской работы;

Б_{к1} – технология контактной точечной сварки.

Таким образом, на основании таблицы 9 можно сделать вывод, что технология лазерной сварки, разработанная в ходе исследовательской работы, может составить серьезную конкуренцию распространенной в настоящее время контактной стыковой сварке циркониевых сплавов. Главными преимуществами данной технологии является повышение производительности, безопасность и простота эксплуатации.

6.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На основе предыдущих разделов выпускной квалификационной работы, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Более высокая производительность, по сравнению с другими технологиями С2. Квалифицированный персонал С3. Актуальность проекта С4. Экологичность и безопасность технологии	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Окончательный вариант технологии, который можно будет ввести в производство, далек от завершения Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Получение качественных сварных соединений В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		

Продолжение таблицы 10 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		
--	--	--

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 11-14.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны					
Возможности		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	–	–
	В3	+	+	–	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: В1С1С2С3С4, В2С1С2, В3С1С2С4.

Таблица 12 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны				
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	–
	В2	+	+	–
	В3	–	+	–

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл1Сл2, В2Сл1Сл2, В3Сл2.

Таблица 13 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	+	–	+	+
	У2	+	–	–	–
	У3	–	–	–	–

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С1С3С4, У2С1.

Таблица 14 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон

Слабые стороны				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	–	–
	У2	–	+	+
	У3	–	–	–

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1, У2Сл2Сл3.

Таким образом, по анализу интерактивных таблиц можно составить итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 15).

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Более высокая производительность, по сравнению с другими технологиями</p> <p>С2. Квалифицированный персонал</p> <p>С3. Актуальность проекта</p> <p>С4. Экологичность и безопасность технологии</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Окончательный вариант технологии, который можно будет ввести в производство, далек от завершения</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Высокая производительность технологии, а также ее экологичность и безопасность увеличивает стоимость конкурентных разработок. Актуальность работы позволит привлечь инновационную инфраструктуру ТПУ в дальнейших исследованиях</p>	<p>Отсутствие квалифицированного персонала ведет к снижению качества сварных соединений.</p>

Продолжение таблицы 15 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Появление новых технологий может привести к утрате актуальности исследования и снижению сравнительной производительности.	Отсутствие квалификации у специалистов может повлиять на спрос потенциальных потребителей. Несвоевременное финансовое обеспечение исследования увеличивает срок разработки окончательного варианта технологии.
--	---	---

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

6.4 Планирование научно-исследовательских работ

6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение литературного обзора	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Теоретический расчет режимов	
	9	Сварка образцов	
	10	Анализ качества и структуры сварных швов	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Вывод по цели	

6.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов внесены в таблицу 17.

6.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому

наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. Согласно производственному и налоговому календарю на 2020 год, количество календарных 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных 101 дней, количество предпраздничных дней – 17, таким образом: $k_{\text{кал}}=1,5$.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 101 - 17} = 1,5.$$

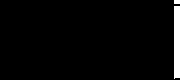

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 17.



После заполнения таблицы 17 строим календарный план-график (таблица 18). График строится для максимального по длительности исполнения работ, в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания выпускной квалификационной работы. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Составление и утверждение темы проекта	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Анализ актуальности темы	1	3	1,8	Руководитель Студент	2	3
Поиск и изучение материала по теме	1	5	2,6	Руководитель Студент	3	5
Выбор направления исследований	1	3	1,4	Руководитель	3	5
Календарное планирование работ	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Изучение литературы по теме	6	9	7,2	Студент	7	11
Подбор нормативных документов	5	8	6,2	Руководитель Студент	7	11
Теоретический расчет режимов	3	5	3,8	Студент	4	6
Сварка образцов	1	2	1,4	Студент	1	2
Анализ качества и структуры сварных швов	1	3	1,8	Студент	2	3
Анализ результатов	1	4	2,2	Руководитель Студент	3	5
Вывод по цели	1	4	2,2	Студент	3	5

Таблица 18 – Календарный план-график по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																
				март			апрель			май			июнь							
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10							
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3																	
2	Анализ актуальности темы	Руководитель Студент	3																	
3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель Студент	5																	
4	Выбор направления исследований	Руководитель	5																	
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3																	
6	Изучение литературы по теме	Студент	11																	
7	Подбор нормативных документов	Руководитель Студент	11																	
8	Теоретический расчет режимов	Студент	6																	
9	Сварка образцов	Студент	2																	
10	Анализ качества и структуры сварных швов	Студент	3																	
11	Анализ результатов	Руководитель Студент	5																	
12	Вывод по цели	Студент	7																	

 – студент;  – руководитель.

Из таблицы 18 видно, что практическая часть всего исследования занимает порядка двух календарных месяцев. Сравнительно большой промежуток времени выделен на составление темы и выбора направления исследования для лучшей его проработки и исключения необходимости возвращаться к этому этапу в дальнейшем.

6.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

6.5.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, используемых для научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при научном исследовании (шт. кг, м, м²);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Сплав Э110	кг	1	25200	30240
Бумага	лист	100	2	230
Картридж	шт.	1	1000	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	350	402,5
Итого:				32023

6.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, указаны в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ЛТА-4-2	1	2300	2645
2	Olimpus SZ61	1	192,76	221,67
Итого				2866,67

Амортизация определяется по формуле:

$$A = \frac{C}{T_{об}} = \frac{2645000}{10} + \frac{221670}{10} = 286667 \text{ руб.}$$

Определена сумма амортизации на весь период исследования и дальнейшее ее внедрение в производство.

6.5.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Месячный должностной оклад работника сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Оклад работника

Исполнители по категориям	Оклад, руб.	Районный коэффициент (для Томска)	Месячная зарплата, руб./месяц
Руководитель	20800	1.3	27040
Инженер	7000	1,3	9100

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	28	28
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 27040 = 3515,2 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 9100 = 1183 \text{ руб.}$$

6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). %.

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равен 30,2%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30,2%.

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (27040 + 3515,2) = 9227,65 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (9100 + 1183) = 3105,45 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	27040	3515,2
Студент	9100	1189
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	12333,10	

Суммарное отчисление во внебюджетные фонды составило 12333,10 руб.

6.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5),$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%, тогда:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 85194,3 = 13631,1.$$

Величина накладных расходов составила 13631,1 руб.

6.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	32023
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36140
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4598,2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	12333,1
5. Накладные расходы	13631,1
6. Амортизация	286667
7. Бюджет затрат НТИ	385392,4

Итого, общий бюджет затрат составляет 385392,4 рублей. Основную его долю составили затраты по основной заработной плате и отчисления во внебюджетные фонды. Наименьшую долю затрат составили материальные затраты НТИ.

При планировании бюджета было обеспечено полное отражение всех видов возможных расходов, необходимых для его выполнения.

6.6 Вывод

Для достижения главной цели раздела решались такие важные задачи, как:

1) оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований проводили с помощью рассмотрения целевого рынка и его сегментирования. На основе SWOT-анализа провели выявление сильных сторон и возможностей проект, а также слабых сторон и угроз. Для извлечения дополнительных преимуществ необходимо дальнейшее развитие технологии;

2) при планировании научно-исследовательских работ определили общее содержание работы, тему проекта, структуру работы, работу каждого участника, продолжительность работ;

3) при планировании бюджета было обеспечено полное отражение всех видов возможных расходов, необходимых для его выполнения, сумма бюджета составляет 385392,4 рублей.

При итоговом анализе раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», можно сделать вывод, что разработанная технология лазерной сварки циркониевых сплавов достаточно конкурентоспособна и эффективна. Она обеспечивает высокую производительность, безопасность и экологичность, по сравнению с контактной точечной сваркой, которая сейчас наиболее распространена для соединения сплава Э110, а также высокое качество сварных швов. Исследования являются актуальными и, при наличии квалифицированных специалистов у потенциальных потребителей, технология может внедриться в производство тепловыделяющих сборок и полупроводниковых приборов. Однако, при несвоевременном финансовом обеспечении научного исследования со стороны государства, возможно затруднение дальнейших работ, что может привести к задержке выхода в производство.

7 Социальная ответственность

Одним из направлений государственной политики в области охраны труда является сохранение жизни и здоровья работника. Безопасность работника в условиях любого современного производства обеспечивается правовой, социально-экономической, организационно-технической, санитарно-гигиенической, лечебно-профилактической защитой.

В данной работе проводилась разработка технологии лазерной микросварки модельных стыковых соединений из циркониевого сплава Э110. Исследования заключались в разработке методики многофакторного эксперимента, расчетном определении базовых энергетических параметров режимов и собственно сварке опытных образцов на установке ЛТА 4-2.

Социальная ответственность является важным пунктом выпускной работы, так как она затрагивает вопросы ответственности организации перед интересами коллектива и общества, о важности безопасности их труда, а также защиты окружающей среды от вредных воздействий исследований. Объектом исследования является аппарат для лазерной сварки ЛТА 4-2.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и отражается на результатах труда.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на твердомере, ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и

категории трудовой деятельности. Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории В – третья категория тяжести.

Расстояние между лазерными установками должны обеспечивать безопасные условия труда и удобства при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте, при этом рекомендуется: при однорядном расположении – не менее 1,5 м; при двухрядном – не менее 1,0 м. Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы исключить воздействие лазерного излучения. Лазерные изделия должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях. Высота траектории прохождения лазерного пучка должна превышать 2,2 м.

7.2 Производственная безопасность

Для идентификации опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [42].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для данной производственной среды представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные факторы действующие на сварщика при работе на лазерной установке

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Недостаточная освещенность	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
2. Неблагоприятные условия микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
3. Электроопасность	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
4. Лазерное излучение	ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения

7.2.1 Недостаточная освещенность

Нехватка естественного света оказывает пагубное влияние на нервную систему человека, что может привести к психическим заболеваниям, при нехватке искусственного света человек ощущает апатию и депрессию.

Недостаток освещенности рабочего места пагубно сказывается на зрении человека, его концентрации и т.д. В темных помещениях человек испытывает усталость и сонливость, так как организм стремится уйти в сон. Также недостаточная освещенность ведет к развитию близорукости и дальнозоркости.

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СП 52.13330.2016. Выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объема различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона [43].

Таблица 26 – Требования к освещению рабочего места

Характеристика зрительной работы	Искусственное освещение				Естественное освещение		Совмещенное освещение		
	Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	КЕО, e_n , %					
	при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения		P	K_p , %	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
	всего	в том числе от общего							
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Средней точности	500	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9

В процессе работы на лазерной установке имеет место быть постоянное напряжение зрительных нервов, что приводит к ухудшению зрения, раздраженности, нервозности, депрессии и т.д.

7.2.2 Неблагоприятные условия микроклимата

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха [42]. Согласно [44] показателями, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

Указанные параметры – каждый в отдельности и в совокупности – оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его самочувствие и здоровье. При определенных их значениях человек испытывает состояние теплового комфорта, что способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. И, наоборот, неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к таким заболеваниям работающих как различные формы простуды, радикулит, хронический бронхит, тонзиллит и др.

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения.

Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место. При этом нормируются: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [44]. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в Вт. Экспериментальная часть ВКР проводилась в лабораторных

условиях, по энергозатратам ее следует отнести к категории Ib, производимая сидя или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.4.548-96 для категории Ib приведены в таблицах 26 и 27.

Таблица 26 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24		

Таблица 27 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		ниже оптимальных величин, не более	выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,0-20,9	23,1-24,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	20,0-21,9	24,1-28,0	15-75	0,1	0,3

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. В рабочем помещении имеется как естественная вентиляция, так и принудительная. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

7.2.3 Электроопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока.

В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм.

Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА. Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование. Для предотвращения электрического поражения необходимо по возможности исключить причины поражения, к которым относятся:

- случайные прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на механических частях электрооборудования (корпусах, кожухах и т.д.) в результате повреждения изоляции или других причин;
- появление напряжения на отключённых токоведущих частях, на которых работают люди в результате ошибочного включения;
- возникновения напряжения на поверхности земли или на опорной поверхности.

Согласно ПУЭ (7-е изд.) [45] данная лаборатория относится к категории помещения – без повышенной опасности. Так как в ней учтены все необходимые правила по электробезопасности, это сухое помещение без повышенного

напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C. Все сотрудники проходят первичный инструктаж по электробезопасности.

Основными техническими средствами защиты человека от поражения электрическим током, используемыми отдельно или в сочетании друг с другом, являются (ПУЭ): защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, электроразделительные средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Искусственное заземление — это преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки электрической сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством. Установка ЛТА 4-2 снабжена контуром заземления (РЕ), включающего в себя защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов).

7.2.4 Лазерное излучение

Лазерное излучение формируется в оптических квантовых генераторах (лазерах) и представляет собой оптическое когерентное излучение, характеризующееся высокой направленностью и большой плотностью энергии. Главный элемент лазера, где формируется излучение, - активная среда, для образования которой используют: воздействие света нелазерных источников, электрический разряд в газах, химические реакции, бомбардировку электрическим пучком и другие методы.

Области применения лазера определяются энергией используемого лазерного излучения. Под воздействием лазерного излучения нарушается жизнедеятельность как отдельных органов, так и организма в целом. В настоящее время установлено специфическое действие лазерных излучений на

биологические объекты, отличающиеся от действия других опасных производственных физических и химических факторов. При воздействии лазерного излучения на сплошную биологическую структуру (например, на организм человека) различают три стадии: физическую, физико-химическую и химическую. На первой стадии (физической) происходят элементарные взаимодействия излучения с веществом, характер которых зависит от анатомических, оптико-физических и функциональных особенностей ткани, а также от энергетических и пространственных характеристик излучения и, прежде всего, от длины волны и интенсивности излучения. На этой стадии происходит нагревание вещества, преобразование энергии электромагнитного излучения в механические колебания, ионизация атомов и молекул, возбуждение и переход электронов с валентных уровней в зону проводимости, рекомбинация возбужденных атомов и др. При воздействии непрерывного лазерного излучения преобладает в основном тепловой механизм действия, в результате которого происходит свертывание белка, а при больших мощностях – испарение биоткани. При импульсном режиме (с длительностью импульсов меньше 10^{-2} с) механизм взаимодействия становится более сплошным и приводит к преобразованию излучения в энергию механических колебаний среды, в частности ударной волны. При мощности излучения свыше 107 Вт и высокой степени фокусировки лазерного луча возможно возникновение ионизирующих излучений.

На второй стадии (физико-химической) из ионов и возбужденных молекул образуются свободные радикалы, обладающие высокой способностью к химическим реакциям. На третьей стадии (химической) свободные радикалы реагируют с молекулами веществ, входящих в состав живой ткани, и при этом возникают те молекулярные повреждения, которые в дальнейшем определяют общую картину воздействия лазерного излучения на облучаемую ткань и организм в целом.

По степени опасности лазерного излучения лазеры подразделяются на следующие классы [46]: I - малоопасные (воздействия прямого и зеркально

отраженного излучения только на глаза); II - средней опасности (воздействия на глаза прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения, а также прямого и зеркально отраженного излучения на кожу); III - опасные (воздействия на глаза, кожу прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения; работа лазеров сопровождается возникновением других опасностей и вредных производственных факторов); IV - высокой опасности (опасности, характерные для лазеров I-III классов, а также ионизирующее излучение с уровнем, превышающим установленные допустимые пределы).

Работы с лазерами следует проводить в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. Само помещение изнутри, оборудование и предметы, находящиеся в нем, не должны иметь зеркально отражающих поверхностей, если на них может падать прямой или отраженный луч лазера. В помещении или в зону помещения с действующими лазерными установками должен быть ограничен доступ лиц, не имеющих отношение к работе установок. В качестве индивидуальных средств защиты рекомендуются защитные очки из специального стекла.

Очки целесообразно монтировать в маску или полумаску, защищающую лицо. Руки защищаются хлопчатобумажными перчатками. Для защиты остальных частей тела достаточно обычной одежды [47].

7.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Согласно [48] при работе установки лазерной сварки ЛТА 4-2 не выделяется и не выбрасывается в воду, атмосферу, вентиляцию или в рабочую зону каких-либо вредных веществ, газов, аэрозолей, дымов и т.д., превышающих допустимые уровни ПДК. Соответственно, негативное влияние на атмосферу будет заключаться только в скоплении пыли на рабочем месте, а воздействие на

литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов (бумага, бракованные образцы и т.п.).

Решения по обеспечению экологической безопасности:

1. для литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой, ГОСТ 17.4.3.04-85 [49].
2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.07-95, чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, стихийного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде.

В лаборатории, где проводились эксперименты, возможен такой вид техногенной чрезвычайной ситуации, как пожар.

7.4.1 Пожарная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются

системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу В-4, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара при работе на аппарате для лазерной сварки ЛТА 4-2 может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня). Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения

токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

7.5 Вывод

Целью раздела «Социальная ответственность» было рассмотрение характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов, влияющих на рабочих, и окружающую среду.

В разделе производственная безопасность проведён анализ опасных и вредных факторов, оказывающих негативное действие на электромонтера и представлены меры по снижению влияющих вредных факторов.

В разделе экологическая безопасность произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, литосферу и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

В разделе безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) представлен перечень возможных ЧС на объекте, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является пожар. Проведены разработки по превентивным мерам предупреждения ЧС.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, была разработана технология лазерной сварки модельных стыковых соединений листов толщиной 0,5 мм из циркониевого сплава Э110 на установке ЛТА 4-2.

На основании литературного обзора и инженерных расчетов были подобраны такие режимы процесса, чтобы проследить влияние регулирования каждого из параметров на размеры и качество сварных соединений. Однако необходима проверка данных режимов экспериментальным путем.

Дальнейшим направлением исследований будут являться проверка предложенной технологии экспериментальным путем, испытания образцов на растяжение, определение микротвердость в сварном шве и зоне термического влияния и микроструктуры соединения.

Результаты работы показывают необходимость продолжения исследований по данной теме для совершенствования технологии лазерной сварки, которая в последствии может найти применение в перспективной отрасли ядерной энергетики.

Список литературы

1. Ёлкин М.А., Шабалин Р.В., Кузнецов М.А. Применение циркониевых сплавов в строительстве АЭС нового поколения // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2016). Материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых [Электрон. текстовые дан.]. – 2016. – С. 313-315.
2. Займовский А.С., Никулина А.В., Решетников Н.Т. Циркониевые сплавы в атомной энергетике. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232с.
3. Материалы для ядерных реакторов / Пер. с англ., под ред. Ю.Н. Сокурского. – Москва: Госатомиздат, 1963. – 386 с.
4. Уайэтт Л.М. Материалы ядерных энергетических установок / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 256 с.
5. Герасимов В.В., Монахов А.С. Материалы ядерной техники. – М.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
6. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 408 с.
7. Малыгин В.Б. Эксплуатационные свойства материалов для обоснования проектов твэлов энергетических реакторов. – М.: МИФИ, 2007. – 124 с.
8. Выговский С.Б., Рябов Н.О., Семенов А.А. и др. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
9. Azarenkov N.A., Neklyudov I.M., Voyevodin V.N. Reactor materials – modern status // Journal of Kharkiv National University. Phys. Ser. «Nuclei, Particles, Fields». – 2012. – Vol.1017. – Iss.3(55). – P.4-18.
10. Миллер Г.Л. Цирконий / Пер. с англ. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1955. – 392 с.
11. Металлургия циркония / Пер. с англ., под ред. Г.А. Меерсона; Ю.В. Гагаринского. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 419 с.

12. Ferrill D.A. Technical note: Fatigue Crack Propagation in Zircaloy-2 weld metal // *Welding Journal*. – 1971. – Vol.50. – Iss.5. – P.206-s, 230-s, 234-s.
13. Ривкин Е.Ю., Родченков Б.С., Филатов В.М. Прочность сплавов циркония. – М.: Атомиздат, 1974. – 168 с.
14. Гончаров А.Б., Нероденко М.М., Ткаченко Л.М. и др. Влияние режимов термообработки на структуру и коррозионное разрушение сварных соединений сплава циркония с 2,5% ниобия в агрессивных средах // *Сварочное производство*. – 1990. – №5. – С.16-17.
15. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / Под ред. В.А. Бачина. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
16. Koh J.-H., Lee J.-W., Jung S.-H. The Effect of Weld Line on the Mechanical Strengths and its Elimination Process in the Zr-4 Resistance Upset Welds // *Journal of the Korean Nuclear Society*. – 1991. – Vol.23. – Iss.1. – P.1-11.
17. Komuro K. Welding of zirconium alloys // *Welding International*. – 1994. – Vol.8. – Iss.2. – P.141-148.
18. Coleman C.E., Doubt G.L., Fong R.W.L. et al. Mitigation of Harmful Effects of Welds in Zirconium Alloy Components // *Proceedings of “Zirconium in the Nuclear Industry: Tenth International Symposium”*. – Philadelphia, 1994. – P. 264-284.
19. Блащук В.Е., Поляков С.Г. Коррозионное растрескивание сварных соединений циркониевого сплава Э125 // *Автоматическая сварка*. – 1997. – №4. – с.30-33.
20. Yang R., Cheng B., Deshon J. et al. Fuel R & D to improve fuel reliability // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2006. – Vol.43. – Iss.9. – P. 951-959.
21. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов – М.: Машиностроение, 1984. – 46 с.
22. Справочник по лазерной сварке / Под ред. С. Катаяма – М.: Техносфера, 2015. – 704 с.
23. Process fundamentals of industrial laser welding and cutting / Prepared by: David Havrilla – Rofin-Sinar, 1999. – 203 P.

24. Kim S.-S., Lee Ch.-Yu., Yang M.S. Investigation on Nd:YAG laser weldability of Zircaloy-4 end cap closure for nuclear fuel elements // Journal of the Korean Nuclear Society. – 2001. – Vol.33. – Iss.2. – P.175-183.
25. Une K., Ishimoto S. Crystallographic measurement of the β to α phase transformation and δ -hydride precipitation in a laser-welded Zircaloy-2 tube by electron backscattering diffraction // Journal of Nuclear Materials. – 2009. – Vol.389. – P. 436-442.
26. Han Q., Kim D., Kim D. et al. Laser pulsed welding in thin sheets of Zircaloy4 // Journal of Material Processing Technology. – 2012. – Vol.212. – P.1116-1122.
27. Tao W., Cai C., Li L. et al. Pulsed laser spot welding of intersection points for Zircaloy-4 spacer grid assembly // Materials and Design. – 2013. – Vol.52. – P.487-494.
28. Кочергин В., Лернер А., Ляхов Д. и др. Лазерные и оптические технологии в производстве компонентов энергетических ядерных реакторов // Фотоника. – 2015. – №4(34). – С. 22-29.
29. Chuang Cai, Wang Tao, Liqun Li. Weld bead formation and corrosion behavior of pulsed laser welded zirconium alloy // Manufacturing Technology. – 2015. – №77. – P. 621–628.
30. Chuang Cai, Liqun Li, Wang Tao. Weld Bead Size, Microstructure and Corrosion Behavior of Zirconium Alloys Joints Welded by Pulsed Laser Spot Welding // Journal of Materials Engineering & Performance. – 2016. – №25. – P. 3783–3792.
31. Блащук В. Е. Цирконий: сплавы, сварка, применение (обзор) // Автоматическая сварка. – 2005. – №7. – С. 36–43.
32. Займовский А. С., Калашников В. В., Головнин И. С. Тепловыделяющие элементы атомных реакторов. – М.: Атомиздат, 1966. – 520 с.
33. Петельгузов И. А., Савченко В. В., Мухин М. В. Влияние отжигов на механические свойства твэльных труб из сплава Zr1Nb на основе кальциетермического циркония // Вопросы атомной науки и техники. – 2006. – №1. – С. 86-91.

34. Лазерный аппарат для сварки ЛТА 4-2. Техническое описание и условия эксплуатации – М: Лазеры и аппаратура, 2007. – 27 с.
35. Установка лазерной сварки, резки и термообработки «Квант-15». Техническое описание и условия эксплуатации – Редакция 1-81, 1980 – 27 с.
36. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов. – ТПУ. – 2011
37. Лосев В.Ф., Ципилев В.П. Лазерные технологии и оборудование. – ТПУ. –2008.
38. Tao W., Cai C., Li L. et al. Pulsed laser spot welding of intersection points for Zircaloy-4 spacer grid assembly // *Materials and Design*. – 2013. – Vol.52. – P.487-494.
39. Chuang Cai, Wang Tao, Liqun Li. Weld bead formation and corrosion behavior of pulsed laser welded zirconium alloy // *Manufacturing Technology*. – 2015. – №77. – P. 621–628.
40. Chuang Cai, Liqun Li, Wang Tao. Weld Bead Size, Microstructure and Corrosion Behavior of Zirconium Alloys Joints Welded by Pulsed Laser Spot Welding // *Journal of Materials Engineering & Performance*. – 2016. – №25. – P. 3783–3792.
41. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
42. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
43. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
44. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2013. – 704с.
45. ГОСТ 12.1.040-83.ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
46. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. — 5-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2009. — 335 с.

47. ГОСТ 12.1.009-76. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда.

48. ГОСТ 28915-91. Сварка лазерная импульсная. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

Приложение А

						ГОСТ 3.1105-84	Форма 7	
Дубл.								
Взам.								
Подл.								
						ФЮРА.02190.1В61030	1	1
Разраб.	Белозорова К.А.						ФЮРА.20190.001	
Проверил	Горбунец А.С.				ТПУ			
Н. контро.	Левшина А.А.					стыковое соединение пластин	У	

Сборка:

	$S=S1$	b	
C2	0,5	Ном.	Пред. откл.
		0	+0,1

Сварка:

КОМПАС 3D v18.1 Учебная версия © 2019-2020 "АСКОН" Системы проектирования, Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования

20