

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Технология сварки плавлением элементов ТВС

УДК 621.791.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В31	Ёлкин Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Баннова К.А.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(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
1В31	Ёлкину Максиму Александровичу

Тема работы:

Технология сварки плавлением элементов ТВС

Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.04.2017 №4574
---	------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Объектом исследования является лазерная сварка, пластины из циркониевого сплава Э110, аппарат для лазерной сварки ЛТА 4-2, стереомикроскоп Olympus SZ61
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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. Объект и методы исследования 3. Расчеты и аналитика 4. Результаты проведенного исследования <p>Выводы</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Баннова К.А.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Гордынец А.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В31	Ёлкин Максим Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 80 с., 14 рис., 34 табл., 68 источников.

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

Объектом исследования являются листы 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.

Был разработан многофакторный эксперимент для сварки опытных образцов на аппарате для лазерной сварки ЛТА 4-2.

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

Область применения: атомная промышленность.

Содержание

	С.
Введение.....	7
1 Обзор литературы	9
1.1 Специфика лазерной сварки.....	9
1.1.1 Типы и устройство лазеров.....	10
1.1.2 Nd:YAG лазер.....	12
1.2 Лазерная микросварка	14
1.3 Сварка циркониевых сплавов	16
2. Объект и методы исследования.....	21
2.1 Сплав Э110.....	21
2.2 Аппарат для лазерной сварки ЛТА 4-2.....	24
3. Расчет и аналитика.....	27
3.1 Размеры сварочных образцов	30
3.2 Подготовка образцов к сварке	31
4 Результаты проведенного исследования	32
5 Финансовый менеджмент.....	39
5.1 Анализ конкурентных технических решений	41
5.2 SWOT-анализ.....	42
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	47
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	47
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	48
5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	49
5.4 Бюджет научно технического исследования (НТИ).....	52
5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	51
5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование	52
5.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей	54
5.4.4 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	55
5.4.5 Накладные расходы	55
5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	56
5.5 Вывод.....	57
6 Социальная ответственность	58

6.1 Введение	60
6.2 Производственная безопасность	61
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	61
6.2.2 Лазерное излучение	61
6.2.3 Отклонение параметров микроклимата в помещении	65
6.2.4 Повышенная напряженность электрического поля.....	67
6.3 Экологическая безопасность.....	68
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
6.4.1 Пожарная безопасность.....	70
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
Заключение	73
Список используемых источников.....	74

Введение

Более пяти лет прошло с последней крупной радиационной аварии на атомной электростанции (АЭС) Fukushima-1, и, хотя достигнуто значительное повышение безопасности активной зоны ядерных реакторов (ЯР), специалисты оценивают повторение подобного инцидента, соизмеримого по ущербу, как довольно высокое. Современные программы развития атомной энергетики учитывают данную проблему и предъявляют соответствующие требования к сооружениям ближайшего будущего. Например, в числе приоритетных задач, решаемых проектом АЭС-2006 – российской атомной станции нового поколения, так же ставятся минимизация рисков и обеспечение требуемого уровня безопасности. Так как первыми физическими барьерами защиты атомных электрических станций являются элементы тепловыделяющих сборок (ТВС), для предотвращения проектных и запроектных аварий, основной упор делается на исследования в направлении повышения эксплуатационных характеристик именно этих конструкций [1]. Они должны обеспечивать устойчивость формы и размеров за весь период работы в реакторе, надежную прочность всех узлов в рабочих условиях, переменных термических напряжениях, статических, динамических и вибрационных внешних нагрузках, действующих в условиях рабочих температур в течение всего срока эксплуатации, который для данных элементов активной зоны ЯР составляет не менее трех лет [2]. Значительное влияние на работоспособность ТВС оказывают сварные соединения тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и дистанционирующих решеток (ДР), выполненные контактной и лазерной сваркой [3, 4].

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

Дело в том, что потеря теплоносителя ЯР даже на короткое время (секунды, пока не работают аварийные системы снабжения) ведет к резкому

снижению теплоотдачи топлива и, соответственно, температурному скачку ТВС. Помимо этого, давление в системе падает и, как следствие, напряжения в оболочках ТВЭЛов значительно возрастают, что может привести к их раздуванию, а в некоторых случаях и к разрыву. При этом разрушенные топливные таблетки могут переместиться в раздувшуюся зону, что, при включении аварийных систем, блокирует подачу охлаждения [5]. Исходя из вышеизложенного, представляется актуальной задача совершенствования изготовления элементов ТВС.

Тепловыделяющая сборка – изделие, содержащее делящиеся вещества и предназначенное для получения тепловой энергии в ядерном реакторе за счёт осуществления управляемой ядерной реакции. 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 ДР. Решетка представляет собой набор ячеек толщиной 0,25 мм, приваренных друг к другу и заключенных в обод.

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 лазерной сварки модельных стыковых соединений из циркониевого сплава Э110. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработка методики многофакторного эксперимента;
- расчетное определение базовых энергетических параметров режима лазерной сварки;
- сварка опытных образцов на установке ЛТА 4-2.

1 Обзор литературы

1.1 Специфика лазерной сварки

Согласно [6], 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.

Источником тепловой энергии при этом виде сварки служит излучение, поглощаемое материалами в зоне воздействия лазерного пучка. 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.

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. Соответственно, с помощью лазерной сварки можно сформировать глубокую и узкую область проплавления. Так же, в отличие от плазменной и дуговой сварки, лазерная может осуществляться в вакууме. Среди всех сварочных процессов лазерная сварка способна реализовать самые разнообразные соединения металлов и пластиков [7] толщиной от 0,01 до 50 мм. Помимо вышеперечисленных, данный способ обладает следующими преимуществами [8]:

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

1.1.1 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				
	Длина волны, мкм	Вещество рабочего тела	Характер излучения		Средняя мощность, кВт
			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

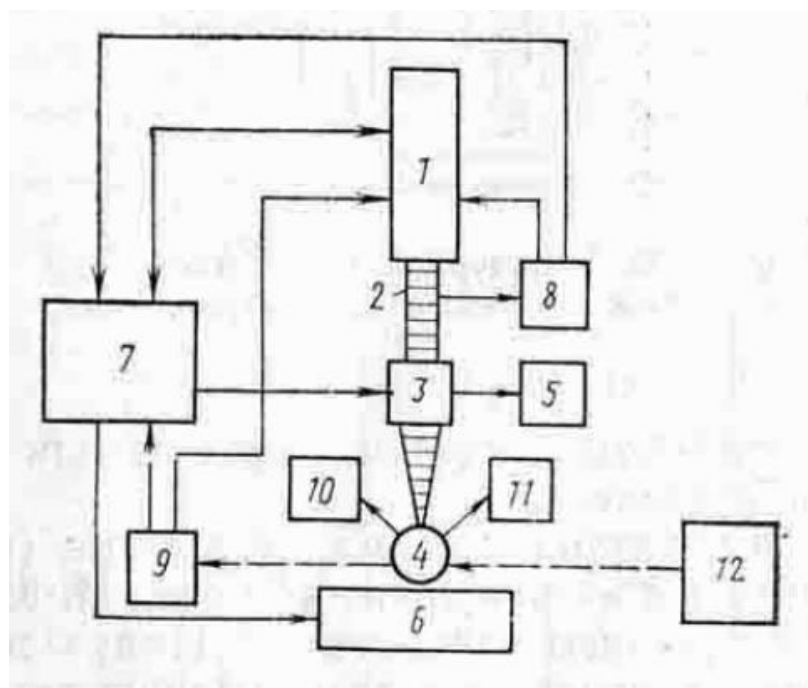
PW – pulse welding, импульсное излучение;

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.

Независимо от типа лазера сварочные установки чаще всего состоят из ряда аналогичных блоков (рисунок 1) [6]. Лазер 1 генерирует излучение 2, которое формируется оптической системой 3 в пучок с определенными пространственными характеристиками и направляется на свариваемый объект 4. С помощью микроскопа 5 возможны визуальный контроль положения объекта сварки, наблюдение за ходом процесса сварки и оценка его результатов. Механизм 6 обеспечивает фиксацию свариваемого объекта на рабочей позиции, его перемещение и замену.



1 – лазер, 2 – излучение, 3 – оптическая система, 4 – свариваемый объект, 5 – микроскоп, 6 – механизм фиксации, 7 – программное устройства, 8 – датчик параметров излучения, 9 – датчик параметров процесса, 10, 11, 12 – дополнительные устройства

Рисунок 1 – Структурная схема лазерной сварочной установки

Установка может быть снабжена программным устройством 7, управляющим параметрами лазера. Датчик 8 предназначен для контроля параметров излучения, а датчик 9 – параметров технологического процесса. Устройства 10 и 11 служат, соответственно, для подачи в рабочую зону дополнительной технологической среды и откачки продуктов сгорания. Для повышения КПД процесса сварки установка может быть снабжена устройством 12 для введения дополнительной энергии.

В промышленности наиболее широкое применение нашли твердотельные Nd:YAG-лазеры и газовые CO₂-лазеры [6, 8]. Выбор типа лазера зависит от свариваемого материала, скорости сварки и требований к глубине проплавления. Особенности, которые необходимо учитывать при выборе между данными типами лазера, указаны в таблице 2.

1.1.2 Nd:YAG лазер

Более подробно рассмотрим данный тип лазера, так как именно он используется в установке, на которой проводился эксперимент, описанный в следующих разделах.

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

Таблица 2 – Сравнительные характеристики Nd:YAG и CO₂ типов лазеров

Nd:YAG-лазер	CO ₂ -лазер
<ul style="list-style-type: none">• материалы, отражающие излучение с длиной волны CO₂-лазера, могут быть сварены;• высокие пиковые мощности с большой энергией на импульс;• лучом легко манипулировать;• более прост в обслуживании;• меньшие размеры;	<ul style="list-style-type: none">• более высокая мощность;• лучше качество луча;• большая скорость сварки для материалов, не отражающих излучение с длиной волны CO₂-лазера;• большая глубина проплавления у материалов, не отражающих излучение с длиной волны CO₂-лазера;• ниже капитальная и эксплуатационная стоимость;

Стержень кристалла получают, выращивая его по методу Чохральского [7], 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.

1.2 Лазерная микросварка

Термин «микросварка» несколько размыт, среди специалистов не достигнуто согласия в выборе его точного определения. В [7] предложили следующую формулировку: «лазерная микросварка – метод соединения деталей, обеспечивающий размер сварного шва менее 1 мм и глубину проникновения сварного шва меньше, чем 1 мм». Данный способ нашел применение в ряде отраслей: электронике, телекоммуникациях, автомобильной и медицинской промышленности и т.д.

Лазерная сварка представляет собой процесс, при котором металлы расплавляются и соединяются при их нагревании сфокусированным лазерным лучом. Фокусировка пучка используется для того, чтобы при заданной мощности лазера и скорости сварки расплавить заготовки. По сравнению с традиционными методами (контактной и дуговой), лазерная микросварка имеет ряд преимуществ:

- точные, узкие и глубокие швы, которые могут быть выполнены с высоким металлургическим качеством;
- небольшая зона термического влияния (ЗТВ);
- низкий уровень потока вводимого тепла;
- высокая скорость процесса;
- сварные швы могут быть выполнены при соединении элементов из разнородных и разнотолщинных материалов со сложной геометрией.

При решении использовать лазерную микросварку следует рассмотреть конструкцию соединения и способ изготовления всего изделия в целом, чтобы оценить максимальную потенциальную выгоду от применения этого процесса. Лазерная микросварка требует высокоточного контроля допусков зазора и совместного позиционирования соединяемых компонентов.

Так как процесс осуществляется без присадочных материалов, зазоры должны быть заполнены металлом из смежных с ним областей, что требует дополнительной энергии. Как правило, размер зазора допускается не более

10% от толщины самого тонкого компонента сварки. Проблемы зазора проявляются из-за сильной вогнутости сварных швов или неспособности преодолеть разрыв, создаваемый между соединяемыми частями, кроме того, гораздо труднее начать лазерную сварку в зоне большого зазора.

1.3 Сварка циркониевых сплавов

К конструкционным материалам, из которых возможно изготовление ДР, предъявляют довольно высокие требования: по коррозионной стойкости, сечению захвата нейтронов, стойкости к радиационному излучению, а также механическим свойствам при высоких температурах. Материалы испытывают влияние топлива, высокой температуры, химически агрессивной среды, все это, суммируясь, составляет исключительно тяжелые эксплуатационные условия [1]. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют бериллий, магний, алюминий, нержавеющие аустенитные стали и цирконий [9]. Однако, использование бериллия ограничивает его высокая стоимость из-за малого распространения руды, а также значительных трудностей производства и механической обработки. Применение алюминия и его сплавов возможно исключительно в низкотемпературных ЯР ввиду значительного снижения механических свойств и коррозионной стойкости при высоких рабочих температурах эксплуатации. Магниево-сплавов обладают низкой коррозионной стойкостью в контакте с водой под давлением. Эксплуатацию деталей ТВС из бериллия ограничивает его крайне низкая пластичность и высокая токсичность.

Наиболее широко для изготовления элементов ЯР применяются циркониевые сплавы и нержавеющие стали [5], как наиболее удовлетворяющие следующим требованиям [10]:

- 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.

В наиболее широко распространенных ЯР на тепловых нейтронах – водо-водяных, 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. [10-17].

Несмотря на то, что исследование циркония длится уже более двух веков, а использование сплавов в ядерной энергетике – более семи десятков лет [18, 19], количество работ, посвященных оптимизации технологии изготовления деталей ТВС ЯР на всем производственном цикле, а также изменений в них, происходящих при эксплуатации, не уменьшается. Это во многом связано с тем, что развитие реакторостроения идет по пути все большего увеличения параметров ЯР: плотности нейтронного потока, спектра нейтронов, снимаемой мощности – теплонапряженности, температуры, гарантированного ресурса работы и т. д., оказывающих значительное влияние на элементы ТВС. Существенную роль в обеспечении их надежности играют сварные соединения, эксплуатационные свойства которых во многом определяются наличием в сварном шве и зоне термического влияния (ЗТВ) загрязнений, остаточных напряжений и закалочных структур [10].

Еще в 60-е годы прошлого века [18, 19], были приведены данные о хорошей свариваемости циркония при дуговой и контактной сварке. В качестве критерия необходимого обеспечения качества сварных соединений выступали пластичность (без указания каких-либо количественных параметров) и коррозионная стойкость, а основным требованием к технологии сварки было обозначено применение защитного газа

Ко времени опубликования работы [19] «сведений по контактной электросварке циркония» было «достаточно мало», но ее авторы сообщают, что данным способом можно соединять циркониевые сплавы не только сами с собой, но и с медью, нержавеющей и малоуглеродистой сталью, а также иными металлами.

Сварку возможно осуществлять на воздухе, в инертной атмосфере, под водой или четыреххлористым углеродом. Предел прочности сварных соединений соизмерим с соответствующим параметром менее прочного металла, а пластичность позволяла «выдержать некоторое количество ударов». 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.

В 1970-х годах, помимо дуговой [20] и контактной, стали осуществлять микроплазменную сварку циркония [21]. В связи с тем, что конструкции активных зон ядерных реакторов того времени предполагали использование одновременно деталей из циркониевых сплавов и нержавеющей стали [22], особую актуальность имела технология создания биметаллических соединений. Однако значительной проблемой являлось ухудшение их 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.

Количество работ, опубликованных в 1980-х годах, посвященных сварке циркониевых сплавов, значительно увеличилось. Одним из основных способов сварки циркониевых сплавов плавлением стала электронно-лучевая, при этом достаточно широко использовали точечную, роликовую и диффузионную сварку. Также продолжались работы по оптимизации технологий получения неразъемных соединений циркониевых сплавов с нержавеющей сталью [24], в том числе ультразвуковой сваркой [25].

Накопленный за три десятилетия опыт производства и эксплуатации тепловыделяющих сборок из циркониевых сплавов позволил сделать вывод о необходимости удаления особого внимания проблемам стабильности их эксплуатационных свойств, напрямую зависящих даже от незначительного изменения текстуры, размера зерна, состояния поверхности и геометрии

деталей, а также технологическим параметрам процесса их производства и сборки (в том числе сварки) [10, 26]. Все перечисленное оказывает существенное влияние на скорость гидрирования и коррозионную стойкость – основные первопричины преждевременного выхода из строя ТВЭЛОВ.

В 1990-х годах продолжались работы по оптимизации параметров режимов сварки и последующей термообработки циркониевых сплавов, а также модернизации используемого оборудования (основным направлением исследований являлась приварка заглушек к трубам ТВЭЛОВ). Применяли сварку неплавящимся электродом в аргоне и гелии [27, 30-32], диффузионную [28], контактную стыковую [29, 30], электронно-лучевую и лазерную [30].

За последние годы, не смотря на более чем полувековой период использования циркониевых сплавов в качестве конструкционного материала тепловыделяющих сборок, количество публикаций, посвященных оптимизации технологии сварки значительно увеличилось. Во многом это определяется тем, что с одной стороны перманентно ведутся работы по увеличению кампании ядерного топлива, с другой – количество ТВЭЛОВ с заводскими дефектами сварных соединений еще далеко от желаемого нулевого значения [33]. Поэтому представляются актуальными задачами как изучение поведения элементов топливныхборок в случае наличия дефектов сварных соединений [34-36 и др.], так и совершенствование технологии их изготовления (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. Однако, количество публикаций, посвященных данному способу соединения сплавов из циркония, очень мало [37-43], при чем все имеющиеся работы акцентируют внимание на марках Zircaloy.

Исследований же по лазерной сварке Э110 и других отечественных сплавов циркония с ниобием нет совсем. Соответственно, представляется актуальным данное направление ведения научных работ.

2 Объект и методы исследования

2.1 Сплав Э110

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

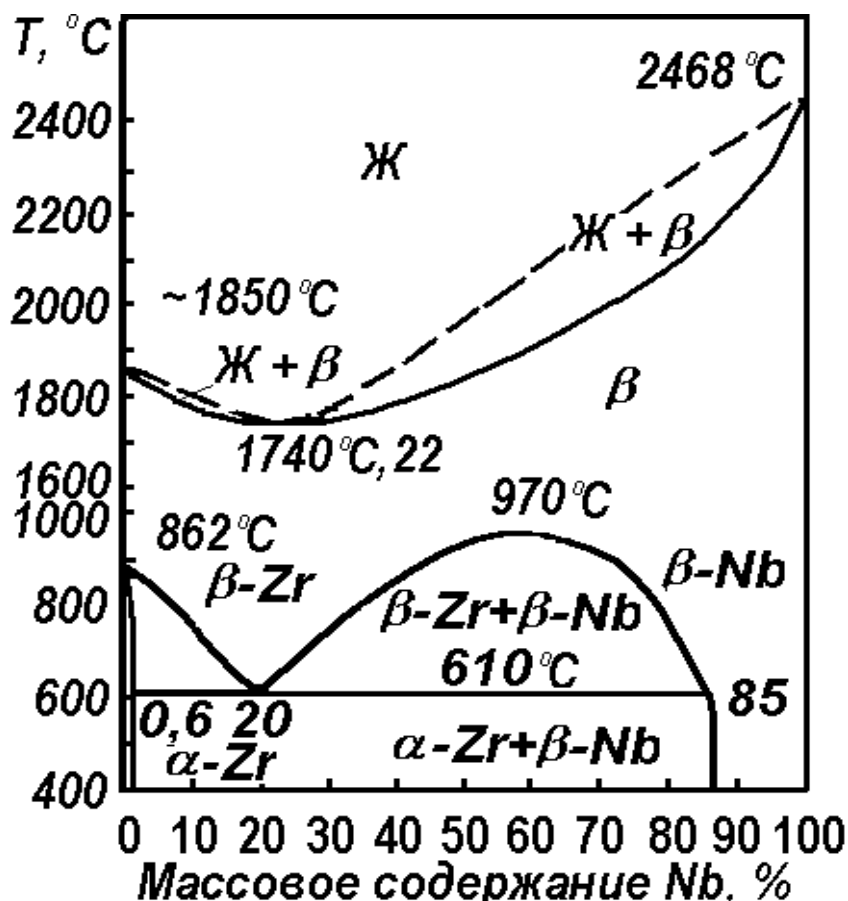


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы цирконий-ниобий [10]

При комнатной температуре бинарные сплавы циркония с массовым содержанием ниобия до 5,0%, применяемые в атомной энергетике, 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 $\approx 85\%$ [5]. В сплаве Zr–1% Nb основой является α -фаза, что, по текстуре и анизотропии, приближает этот сплав к чистому цирконию, который обладает анизотропией физико-механических свойств и меняет свою текстуру в процессе обработки

давлением в значительной степени. Причины, определяющие легирование циркония 1% ниобия (сплав Э110) [10, 47]:

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

При изготовлении пластин из сплавов циркония, в них развивается предпочтительная ориентация, которая оказывает влияние на механические свойства и текстуру, в частности увеличивает значение предела текучести в поперечном направлении. Значительное влияние на качество изделий из сплавов циркония оказывают такие структурные показатели металла, как текстура, размер и форма зерна, дисперсность фаз, а также состояние поверхности, которое напрямую определяет коррозионную стойкость [10]. Меклозернистость и дисперсность избыточных фаз необходима для обеспечения однородности и равномерности окисной пленки, в противном случае происходит усиление коррозионных процессов, сильное гидрирование, образование язв, а также, в худшем случае, к аварии ТВЭЛа. Содержание легирующих элементов в циркониевом сплаве Э110 приведено в таблицах 3 и 4, теплофизические свойства – в таблицах 5 и 6.

Сопротивление пластической деформации сплава Э110 составляет 260 МПа [50], удельное электросопротивление при 20 °С – $49 \cdot 10^{-4}$ Ом·м [52], твердость по Бринелю – 1500÷1700 МПа [48] (требования ТУ 95.166-98 – 1800 МПа). Толщина окисной пленки составляет от 0,05 [44] до 0,6 мкм [51], а ее удельное сопротивление $190 \cdot 10^5$ Ом·м [51]. В литературных источниках

приведены различные значения модуля упругости E при 20 °С: для недеформированного циркония $E_{Zr} = 7500 \div 8400$ [45] кг/мм²; для циркония, деформированного холодной прокаткой $E_{Zr} = 9100 \div 10100$ кг/мм² [46].

Таблица 3 – Содержание легирующих элементов в сплаве Э110 [49]

Элемент	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>Cu</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ca</i>	<i>Cr</i>	<i>F</i>
Содержание, %	0,07	0,006	0,003	0,004	0,021	0,11	0,03	0,002	0,0009

Таблица 4 – Содержание легирующих элементов в сплаве Э110 [52, 53]

Элемент	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>Ca</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
Содержание, %	0,054	0,003	0,017	0,01	0,012	0,004

Таблица 4 – Продолжение

<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>F</i>	<i>Cu</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>
0,0054	0,005	0,003	0,0013	0,003	0,012

Таблица 5 – Теплофизические свойства сплава Э110 [49, 54]

Температура, °С	20	350	380	420
σ_B , МПа	372 (306 [54])	196	182	174
$\sigma_{0,2}$, МПа	294	159	143	142
σ_T , МПа	204 [54]			
δ , %	32±2 (28 [54])	38±3	40	40

Таблица 6 – Теплофизические свойства сплава Zr – 1% Nb [10]

Температура, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Удельное электросопротивление ρ , 10 ⁻⁴ Ом·м	43,9	54,7	73,0	86,1	97,2	108,2	113,4	119,2	122,3
Теплопроводность λ , Вт/(м·град)	17,2	18,0	19,3	20,1	20,5	20,9	21,8	22,9	---
Теплоемкость C , кДж/(кг·град)	---	0,285	0,301	0,322	0,343	0,398	0,448	---	---
Коэффициент линейного расширения α , 10 ⁻⁶ 1/град	5,8	6,0	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2

2.2 Аппарат для лазерной сварки 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 (оси Z) относительно предметного стола, а так же пульт управления, газо-пневмосистему и педаль управления. Внешний вид аппарата представлен на рисунке 3.2.

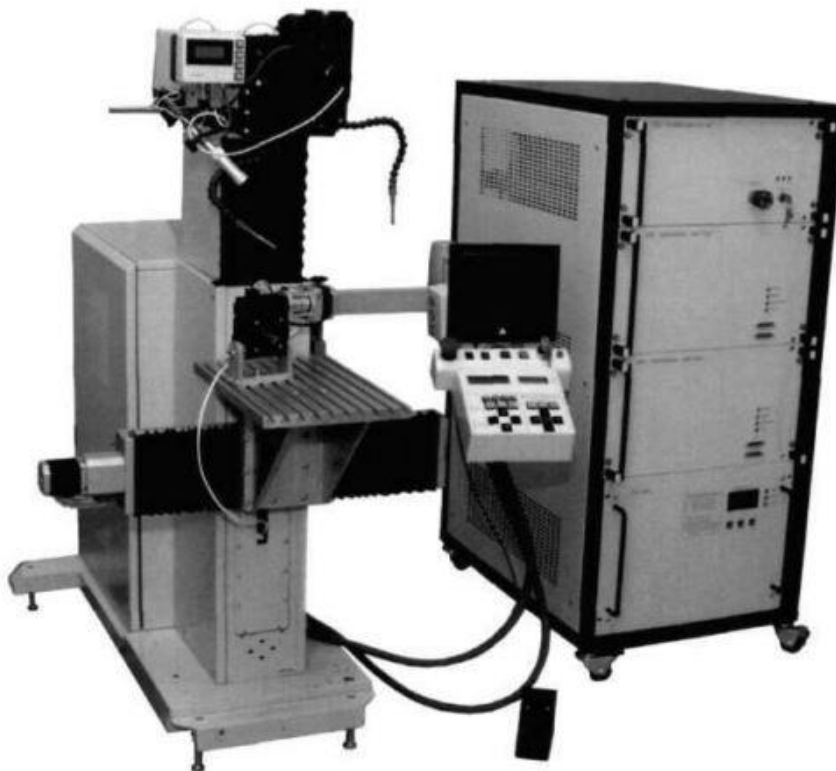


Рисунок 3 – Аппарат для лазерной сварки ЛТА 4-2

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 автоматизированная подача защитных или вспомогательных газов в зону обработки с помощью гибких шлангов с соплами, что обеспечивает защиту фокусирующей оптики и улучшает качество сварного шва. Энергия, частота повторения и длительность импульса

могут варьироваться в широких пределах, что обеспечивает обширный диапазон режимов сварки.

Установка управляется с микропроцессорного пульта управления, обеспечивающего задание параметров лазера и управление приводами оснасток и вращателей. Основные технические характеристики аппарата представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики ЛТА 4-2

Наименование параметров	Значение
Параметры лазера	
Тип лазера	Импульсный Nd:YAG
Длина волны излучения, мкм	1,064
Частота следования импульсов, Гц	0,1 .. 50,0
Длительность импульса, мс	0,5 .. 20,0
Максимальная средняя мощность излучения, Вт	до 250
Максимальная энергия в импульсе излучения, Дж	до 50
Ток в лампах накачки, А	30 .. 510
Параметры оптической системы	
Фокусное расстояние силового объектива, мм	100
Рабочий диапазон длин волн объектива, мкм	1,064 и 0,520
Размер пятна излучения в зоне обработки, мм	0,3-2,0
Технологические особенности:	
Диапазон устанавливаемых скоростей сварки, мм/сек	0,1 .. 10,0
Автоматизированная или ручная подача газа или воздуха в зону сварки	

3 Расчет и аналитика

Плотность мощности излучения лазера q_L является наиболее важным параметром, характеризующим тепловое воздействие оказываемое на материал [8]. Формула (1) выражает связь данной величины с другими параметрами излучения.

$$q_L = \frac{P_L}{\pi \cdot r_0^2} = \frac{E_L}{\tau \cdot \pi \cdot r_0^2}, \quad (1)$$

где P_L – полная мощность излучения, Вт;

τ – длительность воздействия излучения, с;

E_L – энергия излучения, Дж;

r_0 – радиус пятна излучения, мм.

Воздействие лазера заключается в передаче энергии колебаниям кристаллической решетки свариваемого металла, его нагреве, плавлении и испарении. Для обеспечения стабильности процесса, значение q_L не должно превышать величину, при которой температура поверхности T достигает температуру кипения T_k , так как это приводит сильному перегреву, интенсивному парообразованию и выплеску части расплава.

$$T = \frac{2E_L \cdot (1-R) \sqrt{a}}{\sqrt{\pi^3} \cdot \tau \cdot k \cdot r_0^2}, \quad (2)$$

где R – коэффициент отражения;

a – температуропроводность;

k – теплопроводность.

Отсутствие выплеска металла из сварочной ванны является наиболее важным показателем качества процесса. Для достижения этого, требуется учитывать влияние коэффициента отражения, флуктуации которого приводят к существенному изменению температуры, а также все параметры излучения. С учетом вышесказанного, [8] определяет модель управления лазерной сваркой следующим выражением:

$$\vec{u} = u[R, E_L, r_0, \tau, T], \quad (3)$$

где регулируемые параметрами являются E_L, r_0, τ .

В случае импульсной сварки следует иметь ввиду также и другие величины, влияющие на протекание процесса [55]. Пиковая мощность P_{peak} , кВт определяет интенсивность влияния лазерного луча на материал при данном размере пятна.

$$P_{peak} = \frac{E}{\tau} \quad (4)$$

Средняя мощность лазера P_{ave} , Вт является произведением энергии излучения E и частоты следования импульса f , Гц.

$$P_{ave} = E \cdot f \quad (5)$$

Так как при разработке технологии процесса необходимо ставить целью достижение максимальной производительности, требуется также включить в расчеты и скорость сварки

$$v = 2 \cdot r_0 \cdot f(1 - \varepsilon) \quad (6)$$

где ε – коэффициент перекрытия, который для обеспечения непрерывного герметичного шва должен быть в диапазоне 0,75-0,80 [8, 55].

Аппарат ЛТА-4-2 позволяет регулировать ток в лампах накачки I (связанный с энергией E линейной зависимостью), длительность импульса τ и частоту следования импульсов f . Чтобы проследить влияние каждого из данных параметров на качество сварного соединения отдельно, в течение эксперимента примем погонную энергию лазера постоянной $\frac{q}{v} = const$, причем за оптимальное считаем значение, представленное в таблице 8 и полученное опытным путем.

Таблица 8 – Параметры лазера, принятые за оптимальные

I, А	t, мс	E, Дж	V, мм/с	D, мм	f, Гц	$\frac{q}{v}$, кДж/мм
100	14	10,88	1,12	0,95	3	0,7

Используя вышеперечисленные формулы, получим конечное выражение для подбора режимов сварки:

$$\frac{E}{\tau \cdot V} = const. \quad (7)$$

Далее, учитывая информацию литературного обзора и выражение (7), варьировали некоторые параметры регулирования при прочих равных условиях так, чтобы значение погонной мощности оставалось соизмеримым с представленным в таблице 8. Рассчитанные базовые параметры лазера, используемые в эксперименте, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Базовые параметры лазера

q/v , кДж/мм	I, А	t, мс	E, Дж	V, мм/с.	D, мм	f, Гц	P_{peak} , кВт	P_{ave} , Вт	$PO_{расч}$	
0,7	90	14	8,68	0,88	0,95	3	0,62	26,03	0,69	
	100		10,88	1,12			0,78	32,64	0,61	
	110		12,86	1,35			0,92	38,57	0,53	
	120		14,95	1,49			1,07	44,84	0,48	
	100	100	10	8,12	1,12	0,95	3	0,81	24,36	0,61
			12	9,50				0,79	28,50	0,61
			16	12,26				0,77	36,78	0,61
	100	14	10,88	1,12	0,95	5	0,78	54,40	0,76	
			10,88			7	0,78	76,16	0,83	
			10,88			9	0,78	97,92	0,87	

В качестве защитного газа, подаваемого в зону сварки и к корню шва (рисунок 4) с расходом 60 л/мин, применялся аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79 с чистотой не менее 99,993%.

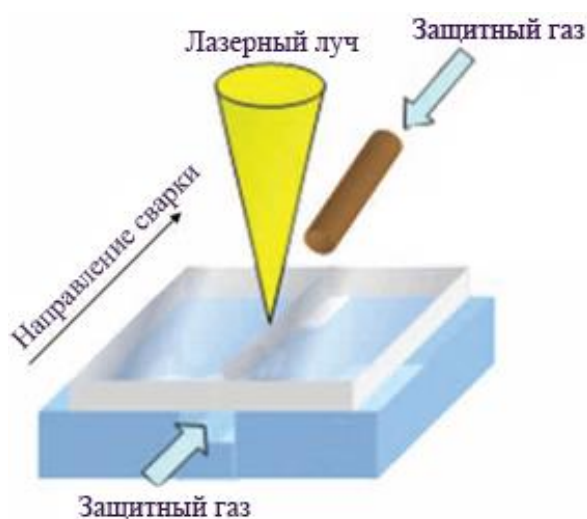


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки

3.1 Размеры сварочных образцов

При выборе размеров свариваемых пластин из циркониевого сплава следовало учитывать последующие механические испытания. Для определения предела прочности и места разрушения образца, необходимо проводить испытания стыкового соединения на растяжение поперек сварного шва. Размеры испытательных образцов определяют два стандарта: российский ГОСТ Р ИСО 4136 – 2009, идентичный международному, и американский AWS B4.0:2007 (рисунок 5, таблица 10).

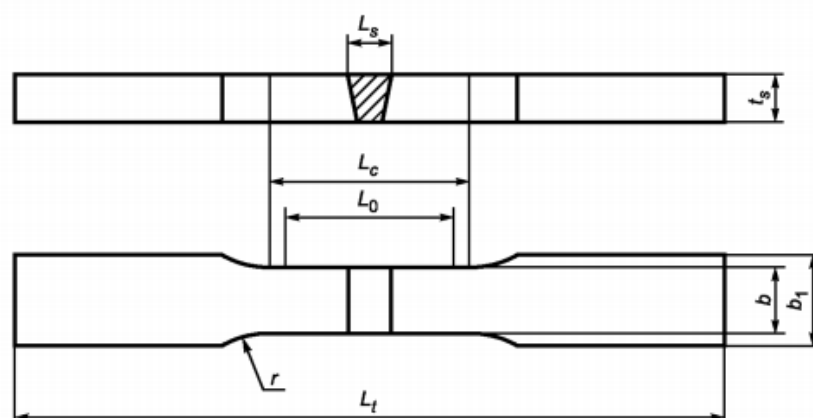


Рисунок 5 – Образцы для испытаний на растяжение

Таблица 10 – Размеры испытательных образцов

Наименование размера	Символ	Размеры, мм	
		ГОСТ Р ИСО 4136 – 2009	AWS B4.0:2007
Общая длина	L_t	Соответствие особенностям разрывной машины	250
Ширина захватной части	b_1	$b + 12$	50
Ширина рабочей части	b	12	$38 \pm 0,25$
Длина рабочей части	L_c	$\geq L_s + 60$	$\geq L_s + 12$
Радиус перехода от рабочей части образца к захватной	r	≥ 25	≥ 25

Исходя из вышеизложенного, при проведении эксперимента для сравнения было сварено десять образцов 250x50 мм для последующей вырезки под размеры, определенные американским стандартом, и три 240x30 мм – под размеры, определенные российским.

3.2 Подготовка образцов к сварке

Для обеспечения требуемого зазора, максимальное значение которого составляет 0.1 мм [7, 8], свариваемые поверхности требуется обработать на фрезерном станке с высокой точностью. Полученные пластины необходимо очистить от загрязнений, таких как жир, грязь и оксиды.

В работах [40, 42, 43] 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 условием применения материала, не оставляющего частиц в зоне сварки [8]. Остатки чистящих веществ должны быть тщательно удалены, чтобы избежать сварочных брызг и образования пор по время процесса [7].

4 Результаты проведенного исследования

Первым этапом обработки результатов эксперимента стала оценка внешнего вида полученных образцов, а также, при помощи стереомикроскопа Olympus SZ61, было выполнено определение ширины сварного шва и зоны термического влияния (рисунок 6), наличия поверхностных дефектов и сравнение фактического коэффициента перекрытия $PO_{ф}$ (рисунок 7) с его расчетным значением $PO_{расч.}$ Полученные данные представлены в таблицах 11-13.

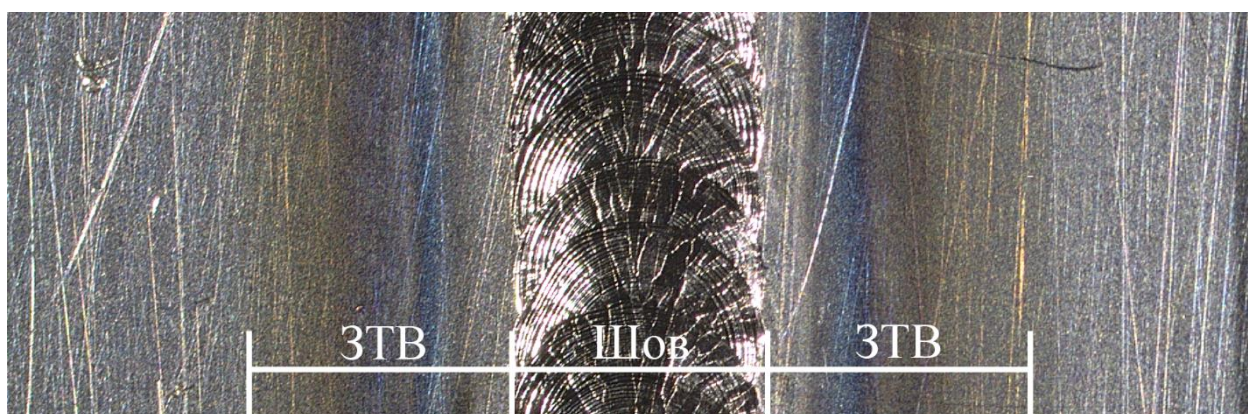


Рисунок 6 – Пример размера сварного шва и ЗТВ

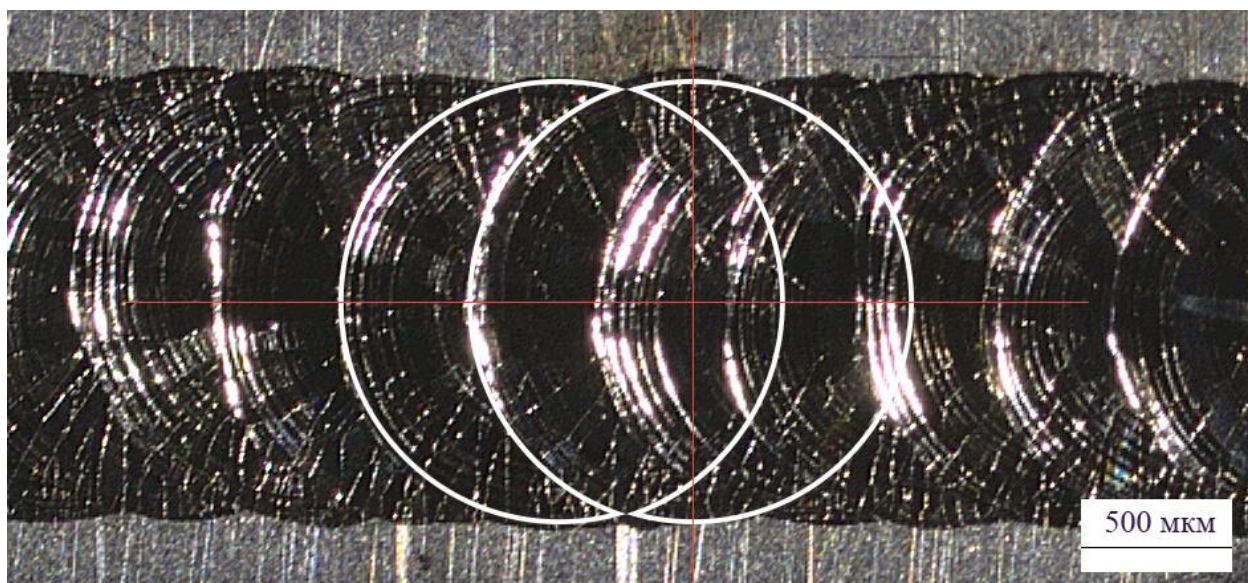


Рисунок 7 – Графическое определение коэффициента перекрытия

Таблица 11 – Влияние увеличения тока в лампах накачки на дефекты шва

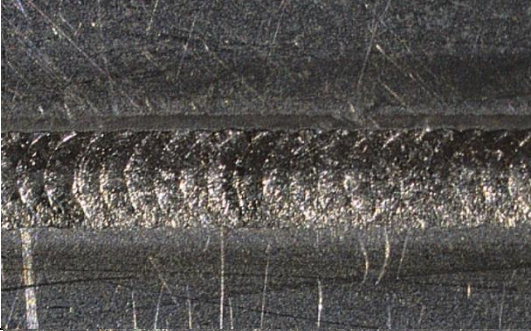
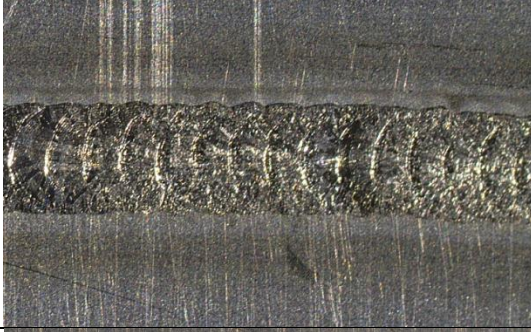
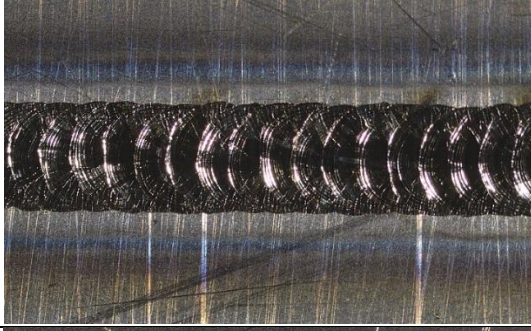
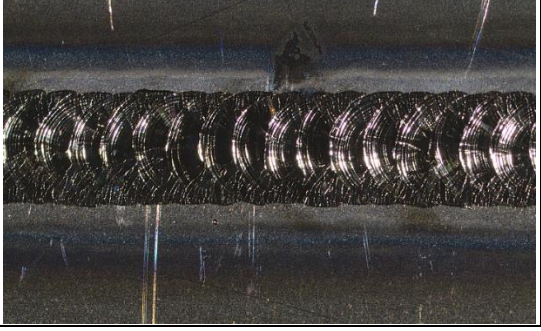
q/v, кДж/мм	I, А	V, мм/с.	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм	PO _ф	Снимок шва
0,7	90	0,88	1,45	1,77	0,62	
	100	1,12	1,15	1,59	0,59	
	110	1,35	2,03	2,90	0,57	
	120	1,49	2,29	4,14	0,56	

Таблица 12 – Влияние увеличения длительности импульса на шов


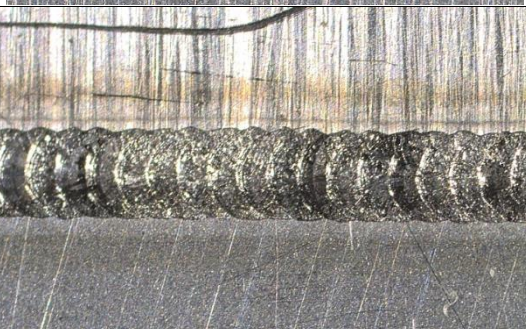
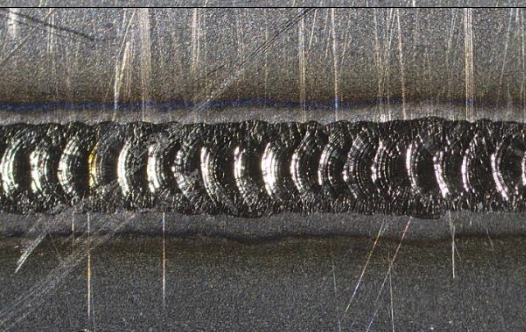
q/v, кДж/мм	t, мс	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм	PO _ф	Снимок шва
0,7	10	1,58	4,04	0,62	
	12	1,71	4,21	0,61	
	16	1,96	4,36	0,60	

Таблица 13 – Влияние увеличения частоты следования импульсов на шов


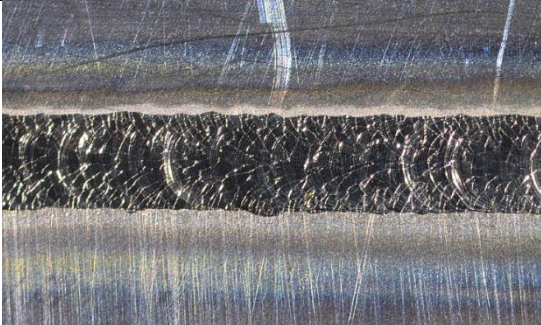
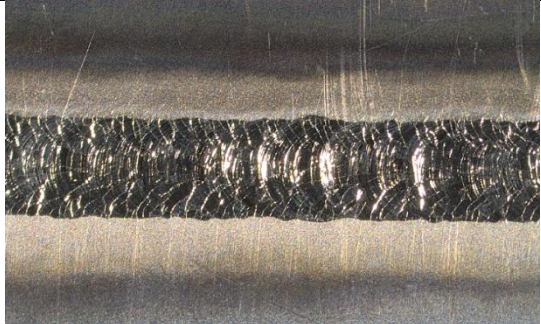
q/v, кДж/мм	f, Гц	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм	PO _ф	Снимок шва
0,7	5	1,37	6,57	0,71	

Таблица 13 – Продолжение

q/v, кДж/мм	f, Гц	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм	PO _ф	Снимок шва
0,7	7	1,78	7,75	0,79	
	9	2,04	8,21	0,80	

На всех режимах было достигнуто полное проплавление образца. Однако, на некоторых режимах возникли поверхностные дефекты. На снимках видно, что при увеличении тока выше 100 А, происходит явный перегрев металла – значительно расширяется ЗТВ, ярко выражены цвета побежалости. Также на образцах, сваренных при значениях тока 110 А и 120 А, образуются трещины и разбрызгивание в корне шва (рисунки 8, 9).

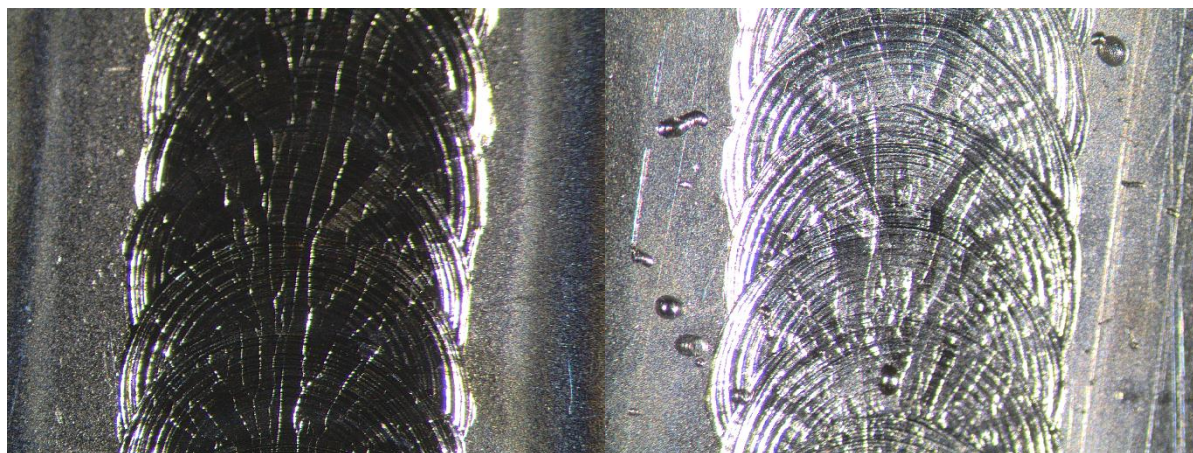


Рисунок 8 – Дефекты при сварке на токе I = 110 А

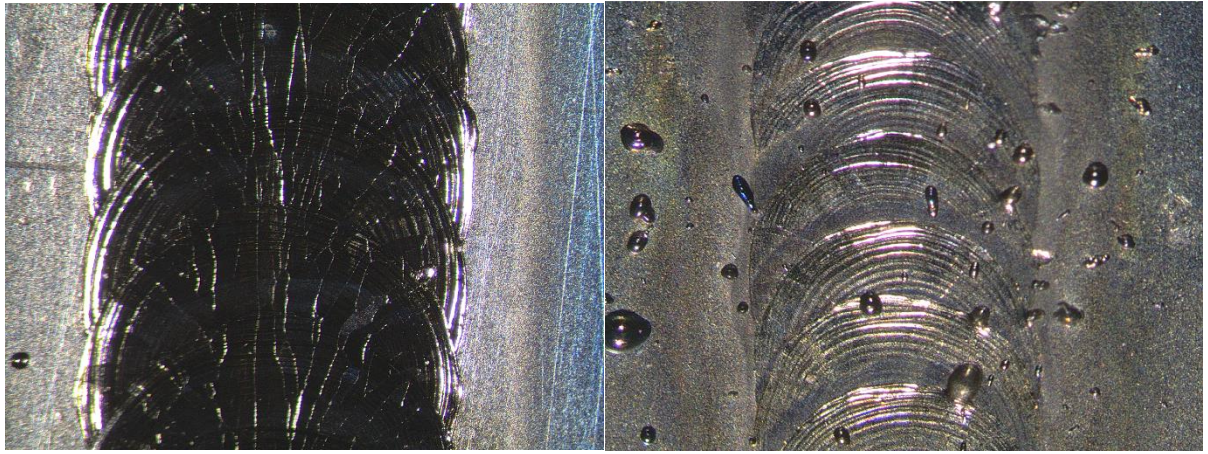


Рисунок 9 – Дефекты при сварке на токе $I = 120$ А

Частота следования импульсов с 5 Гц до 9 Гц также привела к образованию трещин по всей поверхности шва и в его корне, и широкой ЗТВ с ярко выраженными цветами побежалости (рисунки 10, 11).

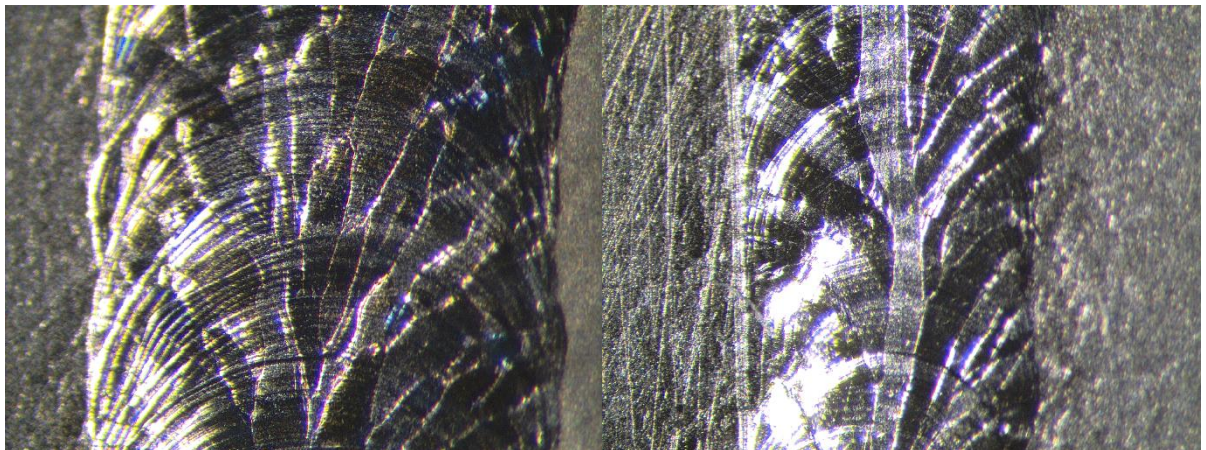


Рисунок 10 – Трещины в шве, сваренном при частоте $f = 7$ Гц

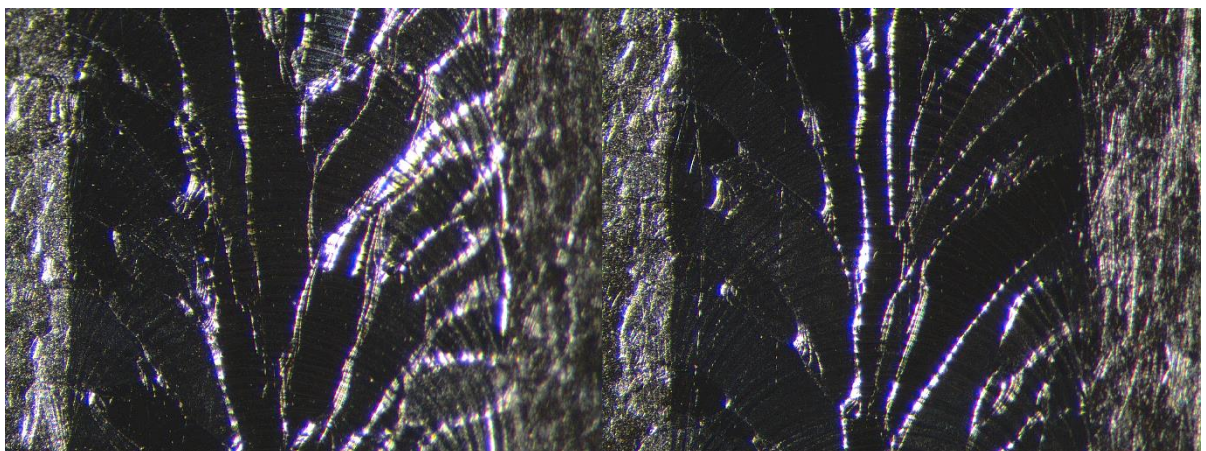


Рисунок 11 – Трещины в шве, сваренном при частоте $f = 9$ Гц

Увеличение длительности импульса повлияло только на ширину шва.

На рисунках 12-13 представлено сравнение фактического и расчетного коэффициента перекрытия. По графикам видно, что наибольшее расхождение значений происходит при регулировании тока и скорости сварки.

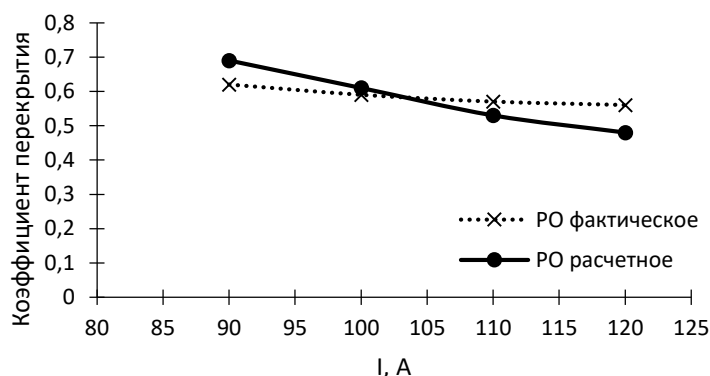


Рисунок 12 – Коэффициент перекрытия в зависимости от тока в лампах накачки, при $\tau = const$, $f = const$

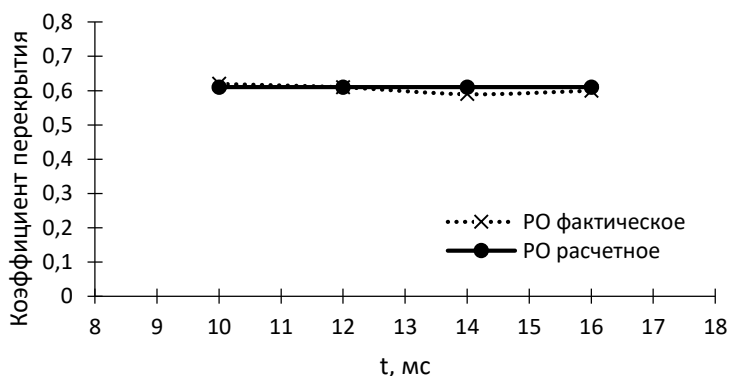


Рисунок 13 – Коэффициент перекрытия в зависимости от длительности импульса при $I = const$, $f = const$

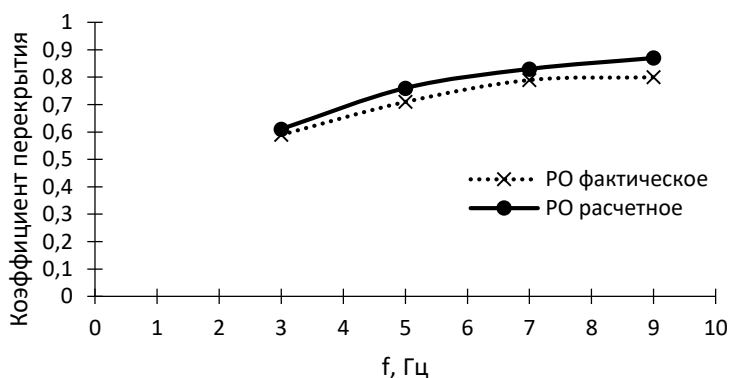


Рисунок 14 – Коэффициент перекрытия в зависимости от частоты следования импульса при $I = const$, $\tau = const$

При первом рассмотрении, как наиболее благоприятные, можно выделить режимы, представленные в таблице 14.

Таблица 14 – Оптимальные базовые параметры лазера

I, А	t, мс	E, Дж	V, мм/с.	D, мм	f, Гц	P _{peak} , кВт	P _{ave} , Вт
90	14	8,68	0,88	0,95	3	0,62	26,03
100		10,88	1,12			0,78	32,64
100	10	8,12	1,12	0,95	3	0,81	24,36
	12	9,50				0,79	28,50
	16	12,26				0,77	36,78

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1В31	Ёлкину Максиму Александровичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
<i>1.Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и технологических</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
<i>2.Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3.Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчисления, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1.Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
<i>2.Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.
<i>3.Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта
Перечень графического материала:	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Коммерциализация проекта 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка сравнительной эффективности НИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В31	Ёлкин М.А.		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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 15.

Таблица 15 – Карта сегментирования рынка

		Выпускаемая продукция	
		ТВС	Полупроводниковые приборы
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		



Как видно из таблицы 15, наиболее перспективным сегментом в отраслях производства ТВС и полупроводниковых приборов для формирования спроса является сегмент мелких и средних предприятий.

5.1 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 16 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства катализаторов ФТ.

Таблица 16 – Оценочная карта

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

Б_ф – технология, разрабатываемая в ходе исследовательской работы;

Б_{к1} – технология контактной точечной сварки.

Таким образом, на основании таблицы 16 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.

5.2 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 работы, проведенной в предыдущих разделах бакалаврской работы, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Матрица первого этапа 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>
--	---	--

		Сл3. Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.
<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>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 18-21.

Таблица 18 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	-	-
	B3	+	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C2C3C4, B2C1C2, B3C1C2C4.

Таблица 19 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	-
	В2	+	+	-
	В3	-	+	-

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

Таблица 20 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	-	+	+
	У2	+	-	-	-
	У3	-	-	-	-

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

Таблица 21 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	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 22).

Таблица 22 – 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>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного</p>	<p>Появление новых технологий может привести к утрате актуальности исследования и снижению сравнительной производительности.</p>	<p>Отсутствие квалификации у специалистов может повлиять на спрос потенциальных потребителей.</p> <p>Несвоевременное финансовое обеспечение исследования увеличивает</p>

исследования со стороны государства		срок разработки окончательного варианта технологии.
--	--	---

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

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 23 – 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 исследования	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	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

5.3.2 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:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{p_i} – 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 24.

Таблица 24 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни							
	Руковод.	Студ.	Руковод.	Студ.	Руковод.	Студ.	Руковод.	Студ.	Руковод.	Студ.	Руковод.	Студ.
Составление и утверждение темы проекта	1		3		1,8		Руководитель		2		3	
Анализ актуальности темы	1	1	3	3	1,8	1,8	Студ.-рук.		2	2	3	3
Поиск и изучение материала по теме	1	1	5	5	2,6	2,6	Студ.-рук.		3	3	5	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	4	6	7	9	5,2	7,2	Студ.-рук.		5	7	8	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	1	4	4	2,2	2,2	Студ.-рук.		3	3	5	5
Вывод по цели		1		4		2,2	Студент			3		5

5.3.3 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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 + 101 + 17} = 1,5$$

На основе таблицы 24 строится календарный план-график

(таблица 25). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения выпускной квалификационной работы.

Таблица 25 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

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

▤ - студент

▨ - руководитель

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с выполнением.

5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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 26 – Материальные затраты

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

5.4.2 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 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ЛТА 4-2	1	2300	2645
2	Olympus SZ61	1	192,76	221,67
Итого				2866,67

Амортизация определяется по формуле:

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

Определили сумму амортизации на весь период исследования и дальнейшее ее внедрение в производство.

5.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Месячный должностной оклад работника сведем в таблицу 27:

Таблица 27 – Оклад работника

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

Таблица 28 – Баланс рабочего времени

Показатель рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- 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).

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

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

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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 равный 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%.

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (27040 + 3515,2) = 9227,65$$

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

Таблица 29 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб
Руководитель проекта	27040	3515,2
Студент	9100	1183
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	12333,10 руб.	

Суммарное отчисление во внебюджетные фонды составило 12333,10 руб.

5.4.5 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%

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

5.4.6 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 30.

Таблица 30 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечания
1. Материальные затраты НИИ	32023	Таблица 5.12
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36140	Таблица 5.16
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4598,2	Таблица 5.16
4. Отчисления во внебюджетные фонды	12333,1	Таблица 5.16
5. Накладные расходы	13631,1	16 % от суммы ст. 1-4
6. Амортизация	286667	
7. Бюджет затрат НИИ	385392,4	Сумма ст. 1-6

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

5.5 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.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1В31	Ёлкину Максиму Александровичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – аппарат для лазерной сварки ЛТА 4-2 Область применения – микросварка
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отклонение параметров микроклимата в помещении; • лазерное излучение. <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электробезопасность.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму.

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень 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. 	<p>Возможными чрезвычайными ситуациями являются пожары и ситуации природного характера.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы).</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В31	Ёлкин Максим Александрович		

6. Социальная ответственность

6.1 Введение

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.

6.2 Производственная безопасность.

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при работе на установке ЛТА 4-2. По степени опасности лазерного излучения установка относится к 2 классу [56, 57]. Результаты проведения анализа представлены в таблице 31

Таблица 31 – Опасные и вредные факторы при разработке технологии сварки элементов ТВС

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы	
	Вредные	Опасные	Вредные факторы	Опасные факторы
Процесс микросварки	Лазерное излучение (прямое, зеркально отраженное)	Повышенное значение напряжения в электрической цепи	ГОСТ 12.1.040-83 [57]	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [59]
	Отклонение параметров микроклимата в помещении		СанПиН 2.2.4.548-96 [58]	

Далее более подробно рассмотрим опасные и вредные факторы, возникающие в связи с работой над ВКР.

6.2.2 Лазерное излучение

Это 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, отличающееся 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 [57]: 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). В таблице 32 приведены опасные и вредные производственные факторы, подлежащие контролю в зависимости от класса лазерных установок.

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.

Таблица 32 – Контролируемые опасные и вредные производственные факторы [57]

Опасные и вредные производственные факторы	Класс лазера			
	1	2	3	4
Лазерное излучение:				
прямое, зеркально отраженное	-	+	+	+
диффузно отраженное	-	-	+	+
Повышенная напряженность электрического поля	-(+)	+	+	+
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная яркость света	-	-	-(+)	+
Повышенные уровни шума и вибрации	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ионизирующих излучений	-	-	-	+
Повышенный уровень электромагнитных излучений ВЧ- и СВЧ-диапазонов	-	-	-	-(+)
Повышенный уровень инфракрасной радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная температура поверхностей оборудования	-	-	-(+)	+
Химические опасные и вредные производственные факторы	При работе с токсичными веществами			
+ имеют место всегда; - отсутствуют; -(+) наличие зависит от конкретных технических характеристик, лазера и условий его эксплуатации.				

Очки целесообразно монтировать в маску или полумаску, защищающую лицо. Руки защищаются хлопчатобумажными перчатками. Для защиты остальных частей тела достаточна обычная одежда [56].

6.2.3 Отклонение параметров микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха [60]. Согласно [61] 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 СанПиН 2.2.4.548-96 [62]. 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 1б – работа легкая

физическая, 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 приведены для категории Ib приведены в таблицах 33 и 34.

Таблица 33 – Оптимальные показатели микроклимата

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

Таблица 34 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	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.

6.2.4. Повышенная напряженность электрического поля

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока [63].

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.) [64] 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, электрозащитные 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).

6.3. Экологическая безопасность

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

Согласно [65] 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 [66].

2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения.

6.4. 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.

6.4.1 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 загорания 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.

6.5. 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 естественно 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.

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 каждого из параметров регулирования на сварные соединения. На этих режимах была проведена сварка опытных образцов.

Полученной в ходе работы информации, однако, недостаточно для того, чтобы сделать окончательные выводы. Дальнейшим направлением исследований будет являться увеличение объема экспериментальных данных. Для этого необходимо провести испытания на растяжение, определить микротвердость в сварном шве и зоне термического влияния, с помощью металлографии узнать получившуюся микроструктуру соединения, а также измерить деформации образцов. Следующим этапом будет сопоставление полученных результатов с каждым из параметров регулирования лазера, с целью определения влияния последних на качество сварного шва.

Результаты работы в полной мере показывают необходимость продолжения исследований по данной теме, так как совершенствование технологии лазерной сварки в последствии может найти применение в перспективной отрасли ядерной энергетики.

Список использованных источников

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. Слободян М.С. Способы создания неразъемных соединений циркониевых сплавов в реакторостроении // Цветные металлы. – 2016. – №10. – С. 91-98.
3. 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.
4. Семенов А.Н., Плышевский М.И., Гордо В.П. и др. Оптимизация формы источника нагрева при электронно-лучевой сварке циркониевых труб // Сварочное производство. – 2012. – №1. – С.22-26.
5. Займовский А. С., Калашников В. В., Головнин И. С. Тепловыделяющие элементы атомных реакторов. – М.: Атомиздат, 1966. – 520 с.
6. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов – М.: Машиностроение, 1984. – 46 с.
7. Справочник по лазерной сварке / Под ред. С. Катаяма – М.: Техносфера, 2015. – 704 с.
8. Process fundamentals of industrial laser welding and cutting / Prepared by: David Navrilla – Rofin-Sinar, 1999. – 203 P.
9. Слободян М.С. Управление свойствами соединений сплавов циркония. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 108 с.
10. Займовский А. С., Никулина А. В., Решетников Н. Г. Циркониевые сплавы в атомной энергетике. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
11. Материалы для ядерных реакторов / Пер. с англ., под ред. Ю.Н. Сокурского. – Москва: Госатомиздат, 1963. – 386 с.

12. Уайэтт Л.М. Материалы ядерных энергетических установок / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 256 с.
13. Герасимов В.В., Монахов А.С. Материалы ядерной техники. – М.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
14. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 408 с.
15. Малыгин В.Б. Эксплуатационные свойства материалов для обоснования проектов твэлов энергетических реакторов. – М.: МИФИ, 2007. – 124 с.
16. 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.
17. 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.
18. Миллер Г.Л. Цирконий / Пер. с англ. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1955. – 392 с.
19. Металлургия циркония / Пер. с англ., под ред. Г.А. Меерсона; Ю.В. Гагаринского. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 419 с.
20. 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.
21. Патон Б.Г., Гвоздецкий В.С., Дудко Д.А. и др. Микроплазменная сварка. – Киев: Наук. думка, 1979. – 248 с.
22. Ривкин Е.Ю., Родченков Б.С., Филатов В.М. Прочность сплавов циркония. – М.: Атомиздат, 1974. – 168 с.
23. Гуревич С.М. Сварка химически активных и тугоплавких металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1982. – 95 с.
24. Рябов В.Р., Рабкин Д.М., Курочко Р.С. и др. Сварка разнородных металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.
25. Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. – Л.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

26. Абрамович М.Д., Вотинов С.Н., Иолтуховский А.Г. Радиационное материаловедение на АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 136 с.
27. 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.
28. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / Под ред. В.А. Бачина. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
29. 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.
30. Komuro K. Welding of zirconium alloys // Welding International. – 1994. – Vol.8. – Iss.2. – P.141-148.
31. 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.
32. Блащук В.Е., Поляков С.Г. Коррозионное растрескивание сварных соединений циркониевого сплава Э125 // Автоматическая сварка. – 1997. – №4. – С.30-33.
33. 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.
34. Park N.-G., Park J.-K., Suh J.-M. et al. Structural integrity evaluation of nuclear fuel with reduced welding conditions // Nuclear Engineering And Technology. – 2009. – Vol.41. – Iss.3. – P.347-354.
35. Review of fuel failures in water cooled reactors. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010. – 175 p.
36. Mishra P., Jathar V.P., Singh J.L. et al. In-reactor degradation of fuel and cladding in fuel pins operated with weld defects // Journal of Nuclear Materials. – 2013. – Vol.439. – P.217-223.

37. 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.

38. 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.

39. Han Q., Kim D., Kim D. et al. Laser pulsed welding in thin sheets of Zircaloy-4 // Journal of Material Processing Technology. – 2012. – Vol.212. – P.1116-1122.

40. 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.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. Демкин Н. Б. Фактическая площадь касания твердых тел. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 110 с.

45. Болдырев А. М. Управление кристаллизацией металла шва при сварке плавлением. – Воронеж: ВПИ, 1980. – 87 с.

46. Брюханов А. А., Бобров В. М., Тарасов А. Ф. Интегральные характеристики текстуры и анизотропия свойств поликристаллического циркония, деформированного холодной прокаткой // Физика металлов и металловедение. – 1996. – т. 82. – №6. – С. 71-75.

47. Блащук В. Е. Цирконий: сплавы, сварка, применение (обзор) // Автоматическая сварка. – 2005. – №7. – С. 36–43.
48. Ажажа В. М., Бутенко И. Н., Борц Б. В. и др. Сплав Zr1Nb для атомной энергетики Украины // Ядерна Фізика та енергетика. – 2007. – №3. – С. 67-75.
49. 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.
50. Полетика Т. М., Нариманова Г. Н., Колосов С. В. Пластическое течение в сплавах циркония с гексагонально плотноупакованной решеткой на макро- и микроуровнях // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – №4. – С. 126-128.
51. A.V. Nikulina, V.A. Markelov, M.M. Peregud, et al. Irradiation-induced microstructural changes in Zr-1% Sn-1% Nb-0.4% Fe // Journal of Nuclear Materials. – 1996. – Vol.238. – P.205-210.
52. Клименко С. П., Грицина В. М., Петельгузов И. А. и др. Использование методов измерения термоЭДС и электросопротивления для исследования фазовых превращений в сплаве Zr1Nb // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – С. 142-148.
53. Решетников Ф. Г., Бибилашвили Ю. К., Головин И. С. Проблемы создания твэлов ВВЭР-1000 для работы в маневренных АЭС и повышенного выгорания // Атомная энергия. – 1988. – Т. 64. – в. 4, С. 258-266.
54. Справочник по редким металлам / пер. с англ., под ред. В. Е. Плющева – М.: Мир, 1965.
55. Nd YAG Laser / Edited by Dr. Dan C. Dumitras – InTech, 2012. – 318 P.
56. 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.
57. ГОСТ 12.1.040-83.ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.

58. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
59. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
60. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
61. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
62. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
63. Р 2.2.2006-05. Руководство гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
64. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2013.
65. Лазерный аппарат для сварки ЛТА 4-2. Техническое описание и условия эксплуатации – М: Лазеры и аппаратура, 2007. – 27 с.
66. ГОСТ 12.1.009-76 межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда.
67. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2013. – 704с.
68. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охраны природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.