

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки: 15.03.01 Машиностроение
Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Импульсная лазерная сварка алюминиевых сплавов

УДК 621.791.72.01:669.715

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В41	Шарков Алексей Игоревич		

Руководитель ВКР

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
Старший преподаватель	Николаенко В.С.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Машиностроение 15.03.01	Хайдарова А.А	к.т.н		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки: 15.03.01 Машиностроение
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Хайдарова А.А.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1В41	Шаркову Алексею Игоревичу

Тема работы:

Импульсная лазерная сварка алюминиевых сплавов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 10186/с от 28.12.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2018 г.
------------------------------------------	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Импульсная лазерная сварка алюминиевых сплавов.2. Импульсный Nd:YAG лазер.3. Пластины из сплава АМг6 200x100x1 мм.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<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 научно-технической информации по импульсной лазерной сварке алюминиевых сплавов. 2. Разработка технологического процесса стыкового соединения. 3. Контроль качества соединения.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Механические свойства и химический состав свариваемого материала. 2. Диаграмма минимальной мощности требуемой для расплава металла. 3. Карта эскиза стыкового соединения. 4. Маршрутная и операционная карты технологического процесса.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>1-3 разделы</p>	<p>Гордынец Антон Сергеевич</p>
<p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p>5. Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>23.02.2018 г.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭИ</p>	<p>Гордынец А.С.</p>	<p>К.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1В41</p>	<p>Шарков Алексей Игоревич</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1В41	Шаркову Алексею Игоревичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Анализ информации предоставленной в российских и зарубежных источниках и публикациях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, SWOT анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет бюджета научно-технического исследования: материальных затрат НИИ; основной и дополнительной заработной платы исполнителей темы; отчисления во внебюджетные фонды; накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп.	Николаенко В.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В41	Шарков Алексей Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1В41	Шаркову Алексею Игоревичу

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	В данной работе рассматривается импульсная лазерная сварка алюминиевых сплавов, применяемая в машиностроении, электронике и приборостроении.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1 Повышенный уровень шума 1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны 1.3 Неблагоприятные условия микроклимата 1.4 Электробезопасность	Вредные факторы: -повышенный уровень шума; -недостаточная освещенность; -неблагоприятные условия микроклимата. Опасные факторы: -электрический ток.
2. Экологическая безопасность: 2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 2.2 Обоснования мероприятий по защите окружающей среды	Оборудование, используемое при исследованиях, является экологически безопасными, без отходов и выбросов. Возможны отходы в виде остатков сварочной проволоки.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 3.1 Пожар	Наиболее вероятным и опасным видом ЧС при сварочных работах является пожар на рабочем месте.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства. 4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работников.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В41	Шарков Алексей Игоревич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 68 с, 6 рис., 7 табл., 28 источников.

Ключевые слова: импульсная лазерная сварка, алюминиевые сплавы, режимы сварки.

Объектом исследования является процесс импульсной лазерной сварки

Цель работы - исследование и разработка технологии импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов

В процессе выполнения работы исследовалась микроструктура алюминиевых сплавов, возможные дефекты, а также механические свойства. Были изучен принцип подбора оптимальных режимов сварки.

В результате исследования была разработана техническая документация на импульсную лазерную сварку алюминиевых пластин.

Область применения: данный метод сварки может применяться в разных отраслях: машиностроении, приборостроении, космической отрасли.

Экономическая эффективность/значимость работы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

ВКР	Выпускная квалификационная работа
НИ	Научно-исследовательский
ИЛС	Импульсная лазерная сварка
V_c	Скорость сварки
$q_{оз}$	Расход защитного газа
$T_{и}$	Длительность импульса
N	Мощность излучения
Расходим.	Расходимость луча
$D_{п}$	Диаметр пятна нагрева
$L_{ф}$	Фокусное расстояние
f	Частота следования импульсов

Содержание	
Введение	12
1.1 Введение в лазерную сварку алюминиевых сплавов	13
1.2 Методы лазерной сварки для алюминиевых сплавов	15
1.3.1 Микроструктура	21
1.3.2. Дефекты	24
1.3.3. Механические свойства.....	24
1.3.4. Коррозия	25
2.1 Режимы сварки	28
2.2 Последовательность выбора оптимальных режимов ИЛС	33
2.3 Выбор оптимальной частоты следования импульсов	35
3.1 Применения лазерной сварки в автомобильной промышленности.....	37
3.2 Лазерная сварка дверей Audi A6: требования проекта	38
3.3 Лазерная сварка дверей Audi A6: реализации	40
3.4 Лазерная сварка двери багажника Audi A8.....	41
4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
4.2 SWOT-анализ.....	42
4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	44
4.4 Бюджет научно-исследовательского проекта	47
5 Социальная ответственность	52
5.1 Производственная безопасность	52
5.1.1 Повышенный уровень шума	52
5.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	54
5.1.3 Неблагоприятные условия микроклимата	54
5.1.4 Электробезопасность	56
5.2 Экологическая безопасность	58
5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	58
5.2.2 Обоснования мероприятий по защите окружающей среды.....	58
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	59

5.3.1 Пожар	59
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	59
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	60
Вывод.....	61
Список литературы	62
Приложение А	65

Введение

В настоящее время широкое применение в приборостроении и машиностроении находят алюминиевые конструкции с толщиной стенки до 2 мм, к достоинствам которых относят их коррозионную стойкость и малый удельный вес.

Анализ особенностей тонкостенных алюминиевых конструкций и требований, предъявляемых к ним, показал, что наиболее эффективным способом получения неразъемных соединений малых толщин является использование импульсной лазерной сварки (ИЛС) твердотельным лазером.

При неправильно подобранном режиме ИЛС могут возникать такие дефекты, как раковины и брызги металла вследствие возникновения выплесков, а также пустоты, кратеры, непровары в стыке свариваемых деталей. При ИЛС трудно подобрать оптимальные параметры режимы сварки (скорость сварки, энергию луча в импульсе, диаметр луча, фокусное расстояние, скважность, частоту импульсов и т.д.) для получения качественного соединения. Необходимо проведение большого количества экспериментов, и поэтому разработка технологии ИЛС является трудоемкой задачей.

1.1 Введение в лазерную сварку алюминиевых сплавов

Лазерная сварка или сварка лазерным лучом обладает некоторыми преимуществами по сравнению с другими традиционными методами соединений. При этом существуют фундаментальные проблемы, из-за которых надежность сварки алюминиевых сплавом оказывается ниже, чем у сварки других промышленных металлов, таких, например, как сталь. Причина этого лежит в физических свойствах алюминиевых сплавов, особенно в их высокой теплопроводности, высокой отражательной способности и низкой вязкости [1]. Коэффициент теплопроводности алюминиевых сплавов зависит от разных факторов, таких как температура, объем и природа легирующих элементов, а также от предварительной тепловой обработки сплава.

Относительно высокие значения теплопроводности обеспечивают быстрый перенос тепла при воздействии лазерного луча на алюминиевые сплавы. Этот эффект становится существенным препятствием для сварки лазерным лучом, так как тепло распространяется по всему свариваемому элементу, снижая локализацию энергии только в сварочной ванне. Поэтому для алюминиевых сплавов требуется использовать излучение лазеров с более высокой мощностью, чем для других сплавов, так как нужна высокая скорость достижения температуры плавления в свариваемой зоне. Необходимо учитывать, что каждый легирующий элемент оказывает свое влияние на коэффициент теплопроводности. В случае сталей известно, что молибден заметно повышает их теплопроводность, никель и медь повышают ее умеренно, алюминий и кремний, наоборот, значительно ее уменьшают, а хром, ванадий, олово и сурьма снижают теплопроводность стали умеренно. К сожалению, подобная детальная информация отсутствует для алюминиевых сплавов. В работе Сакамото и др. указано, что такие элементы, как Si, Mg и Zn, изменяют тепловые свойства алюминиевых сплавов, влияя тем самым на свариваемость. Также сообщалось о влиянии на теплопроводность содержания Si в алмазном композите Al-Si и в матрице композиционного материала Al-Si. В обоих

материалах теплопроводность снижается по мере увеличения содержания Si. Некоторые работы указывают на влияние ряда легирующих элементов на другие свойства сплавов, так же влияющих на свариваемость алюминиевых сплавов [2].

Так, содержание Mg и Zn, обладающих более низкой температурой кипения, чем алюминий, как известно, улучшает свариваемость алюминиевых сплавов и режиме глубокого проплавления. В другой работе было установлено, что способность к сварке шести различных алюминиевых сплавов зависит от содержания в них магния и, в меньшей степени, от содержания цинка и кремния [3]. Авторы пришли к заключению, что эти элементы снижают теплопроводность и температуру плавления, тем самым повышая качество свариваемости алюминиевых сплавов.

Вторым важным фактором, ограничивающим применение лазерной сварки для алюминиевых сплавов, является их высокая отражательная способность. Поглощение излучения алюминиевыми сплавами зависит от длины волны падающего излучения лазера. Поглощение на длине волны излучения мощного полупроводникового лазера алюминиевыми сплавами выше, чем на длинах волн CO₂ и Nd:YAG-лазеров. Таким образом, длина волны излучения высокомоощного диодного лазера (808 нм) вызывает более высокое поглощение алюминием, чем в случае длинноволновых лазеров Nd:YAG (1064 нм) и CO₂ (10640 нм) [4]. В любом случае независимо от источника лазерного излучения отражательная способность алюминиевых сплавов может превышать 80%, и эта величина тем выше, чем чище алюминиевый сплав. Высокая отражательная способность приводит к тому, что алюминиевые сплавы поглощают лишь малую долю падающего излучения. Например, поглощательная способность чистого отполированного алюминия на длине волны 800 нанометров составляет всего 13%. На практике фактическая поглощательная способность зависит от наличия слоя окисла, других загрязняющих поверхность веществ и неровности поверхности [5].

Различные традиционные способы обработки поверхности, такие как пескоструйная очистка или нанесение темных покрытий, снижают отражательную способность алюминиевых сплавов [6]. Другие методы обработки, основанные на лазерном текстурировании поверхности, недавно доказали свою способность повышать поглощение лазерного излучения поверхностью алюминиевых сплавов. Она оказалась выше по сравнению с приведенными выше результатами традиционных способов обработки [2]. Эти результаты показали, что лазерное текстурирование повышает поглощение и проплавление алюминиевых сплавов на величину до 20%. Для определения точного влияния текстурирования необходимы дальнейшие исследования. В любом случае состояние поверхности, играет гораздо большую роль в теплопроводном режиме сварки, чем в режиме глубокого проплавления, так как формирование глубокого проплавления повышает поглощение энергии за счет многократных отражений и взаимодействий с плазмой внутри отверстия проплавления [7].

Третьим фактором, ответственным за низкую свариваемость алюминиевых сплавов, является низкая вязкость материала ванны расплава, которая ограничивает расширение перед отверждением [8]. Насколько известно, в настоящее время отсутствуют исследования, которые бы достигли успеха в поисках способа повышения вязкости материала сварочной ванны алюминиевых сплавов; эта особенность по-прежнему остается препятствием для лазерной сварки этих сплавов.

1.2 Методы лазерной сварки для алюминиевых сплавов

Обычно используют два сварочных режима: режим глубокого проплавления (с плотностью энергии выше, чем 10^6 Вт·см⁻²) и режим теплопроводности (с плотностью энергии ниже, чем 10^6 Вт·см⁻² [9]. Основное различие двух режимов - в характеристиках создаваемой сварочной ванны. Поскольку плотность энергии лазерного пучка выше в случае режима

глубокого проплавления, чем при теплопроводном (кондуктивном) режиме сварки, глубокое проплавление дает более узкий наплавляемый валик. Этот режим в результате испарения металла создает в сварочной ванне полость, которая стабилизируется избыточным давлением паров. Глубокое проплавление связано с образованием интенсивной плазмы, состоящей из паров металла, ионизированных атомов и электронов. Плазма находится как снаружи, так и внутри отверстия проплавления и известна как струйная плазма и плазма глубокого проплавления соответственно. Обе плазмы, струйная плазма и плазма глубокого проплавления, изучались спектроскопическими методами [7]. Устойчивость отверстия проплавления зависит от равновесия между давлением поверхностного натяжения и давлением паров: давление поверхностного натяжения стремится закрыть отверстие, тогда как давление испарения металла стремится удерживать его открытым. Сварка глубоким проплавлением используется чаще, чем теплопроводный режим, потому что она создает сварные швы с более высоким коэффициентом отношения глубины к ширине шва и с узкими зонами термического влияния [8]. Однако механизм глубокого проплавления может создавать некоторые проблемы, такие как неустойчивость, осцилляции отверстия проплавления и прерывистое замыкание отверстия, что зачастую формирует поры, образуемые захватом газа. Кроме того, в некоторых сплавах высокая скорость сварки (и, как следствие, высокие скорости охлаждения) в режиме глубокого проплавления может принести к охрупчиванию сварного шва или зон термической облагораживания [10].

С другой стороны, кондуктивная сварка является более стабильным процессом, поскольку испарение металла происходит при более низком уровне давления, чем в режиме глубокого проплавления [11]. В кондуктивном режиме плотность энергии лазерного пучка локально нагревает материал до температуры выше точки плавления и ниже точки кипения. Кондуктивная сварка является альтернативным способом для сложных материалов, таких как алюминиевые сплавы. были проведены различные исследования, посвященные лазерной сварке алюминиевых сплавов с помощью кондуктивного механизма.

Так, анализировалось применение полупроводниковой лазера в кондуктивной сварке Д16, а результаты анализа интерпретировались с помощью теплового моделирования [12]. Была разработана модель для исследования скорости испарения и изменения состава металла сварного шва алюминиевых сплавов автомобильной промышленности, основываясь на механизмах явления переноса, кинетики и термодинамики. Сплав АМг4, сваренный кондуктивным способом, терял при использовании полупроводниковой лазера в зоне сплавления около 1 - 4% магния и около 8% при применении мощного промышленного CO₂-лазера. Эта потеря отличается от потери магния, измеренной в сварных швах сплава АМг4, созданных в режиме глубокого проплавления, которая лежит в диапазоне 13 - 22% [13]. Как уже сообщалось ранее, магний является наиболее важным легирующим элементом при сварке алюминиевых сплавов; поэтому необходимо снижать его испарение.

В дополнение к этим хорошо известным режимам кондуктивной сварки и сварки глубокого проплавления подтвердили существование третьего режима сварки, так называемого переходного режима, приводящего к сварным швам с характеристиками глубокого проплавления (подрез, неплоский верхний профиль и небольшое углубление) и кондуктивной сварки (низкий коэффициент отношения глубины к ширине шва). Эти результаты также подчеркивают, что режим сварки (глубокого проплавления, переходной или кондуктивный) зависят не только от удельной мощности пучка, но также от скорости сварки и диаметра пучка.

В литературе обсуждается возможность изменения режима при сварке алюминиевых сплавов (от кондуктивного режима к режиму глубокого проплавления, или наоборот) путем варьирования в экспериментах различных переменных параметров лазера. Например, использование CO₂-лазера мощностью 2,5 кВт показало, что поток защитного газа и/или скорость сварки вызывают изменение режима сварки образцов сплава АМг4. Результаты этих исследований доказывают, что небольшие потоки защитного газа и высокие скорости сварочного процесса способствуют поддержанию кондуктивного

режима [14]. В предшествующем исследовании с применением *Nd:YAG*-лазера мощностью 1 кВт также было обнаружено, что скорость процесса сварки явно контролировала механизм сварки и, как следствие, форму сварного шва. Таким образом, при низких скоростях (0,5 м/мин) швы формировались в режиме глубокого проплавления, тогда как при высоких скоростях процесса сварки (3 м/мин) они формировались в условиях кондуктивного режима [15].

В более поздних работах указывалось, что и другие рабочие параметры могут влиять на переход от режима глубокого проплавления в кондуктивный режим. Например, такие как расфокусировка лазерного пучка. Был предложен метод обнаружения перехода от режима глубокого проплавления к режиму кондуктивной сварки, путем контроля оптической и звуковой эмиссии от локальной области попадания излучения лазером. Исследование влияния расфокусировки лазерных пучков большой энергии сначала ограничивалось расстояниями между фокусом и обрабатываемой деталью от -10 мм до +10 мм [1]. Однако переход от глубокого проплавления к кондуктивному режиму достигался, когда это расстояние оказывалось в диапазоне от +5 до +100 мм ниже фокуса [15]. Этот подход предлагал альтернативный метод сварки, приводящий к более низким скоростям охлаждения, что может улучшить свойства наплавляемого валика алюминиевых сплавов. Таким образом, полный провар лазерных кондуктивных швов, получаемых с помощью мощных расфокусированных пучков CO_2 и *Nd:YAG*-лазеров, мог бы сократить или исключить образование дефектов, связанных с режимом глубокого проплавления. Недавно был разработан метод оперативного контроля для обнаружения перехода от режима глубокого проплавления к кондуктивному режиму в сварных швах сплава АМг4 алюминия, получаемых с помощью CO_2 -лазера. Этот подход базируется на корреляционном анализе оптического спектра струи плазмы, формируемой при лазерной сварке. Основа этого метода, известного как метод ковариационного отображения, состоит в том, что режим глубокого проплавления вызывает сильное испарение легирующих элементов,

создавая тем самым более интенсивную плазменную струю, чем в кондуктивном режиме.

Другой экспериментально установленный параметр, приводящий к изменению механизма сварки, работает в случае непрерывных (сварка сплошным швом) или импульсных (точечная сварка) лазерных пучков, CW—CONTINUOUS WAVE, лазеры, генерирующие в непрерывном режиме, и PW—PULSE WAVE, лазеры, генерирующие в импульсном режиме. Было проанализировано влияние режима сварки (CW или PW) Nd-YAG-лазера (2,5 кВт) на свойства шва при стыковой сварке алюминиевых сплавов АМг3 и 6022. Это исследование показало, что режим CW дает более высокую степень провара, чем режим PW. Периоды чередования в режиме PW, как представляется, могут вызвать нестабильное поступление тепловой энергии, что приведет к рассеянию энергии в образце [16]. В противоположность этому поступающая энергия остается однородной и стабильной, когда сварка выполняется в режиме CW, создавая более глубокое проплавление формируемого валика.

Оптимизация физических свойств защитного газа относится сегодня к направлению наиболее интенсивных исследований. Так, смеси Ar-He, Ar-CO₂ или He, Ar и O₂, продемонстрировали увеличение глубины проникновения лазерных сварных швов алюминиевых сплавов. Исследование влияния отношения газовых компонентов в смеси Ar/He на температуру плавления различных алюминиевых сплавов (АМг2, АМг4, АМг6, АД33) показало, что использование аргона предпочтительно при сварке сплавов с высокой теплопроводностью и отражательной способностью, если использовать излучение низкой мощности и высокие скорости сварки, в то время как высокое содержание He предпочтительно для излучения высокой мощности и низкой скорости сварки. Дополнительно к влиянию физических свойств защитного газа анализировалась замена газовой среды на вакуум [14].

Известно о наблюдавшемся уменьшении пористости при формировании наплавляемого валика шва при сварке сплава АМг2 в непрерывном режиме

CO₂-лазером высокой мощности и Nd:YAG-лазером в вакууме. В более поздней работе те же авторы сообщают о разработке новой вакуумной камеры, обеспечивающей разрежение от 0,1 до 10,0 кПа, в которой мощный дисковый лазер успешно использовался для получения сварных швов при сварке сплава АМг2 с большой глубиной провара. Наблюдалось увеличение глубины провара с уменьшением давления воздуха окружающей среды (приближение к условиям высокою вакуума) при низкой скорости сварки. Морфология полученных сварочных швов также менялась с варьированием условий вакуума. В других работах исследовалось влияние формы и конструкции сопла и влияние загрязнения защитною газа, угла наклона сопел, расхода и плотности защитного газа. Теоретические соображения, показали, что применение коаксиального сопла обеспечивает лучшую защиту от атмосферного загрязнения о зоне сварки [16].

Рассматривалось влияние скорости сварки и мощности лазера (параметры, воздействующие на плотность энергии лазерного излучения) на форму шва. Результаты получены для определенного сплава: глубина провара и ширина шва уменьшались с ростом скорости сварочного процесса. При сравнении энергии (плотность энергии лазерного излучения), необходимой для получения аналогичной глубины провара для сплавов легированных магнием и сплавов легированных магнием и кремнием, было обнаружено, что первые требуют значительно меньше энергии, чем последние: для сплава АМг3 она в 2,5 меньше, чем для сплава 6022 [17]. Это означает, что скорость сварки для сплавов легированных магнием может быть повышена в 2,5 раза. Этот коэффициент авторы для аналогичных сплавов оценивают значением 2. Скорость сварки и мощность лазера систематически анализировались для стыковых швов, получаемых в кондуктивном режиме для шести алюминиевых сплавов [18]. Линейная связь между приложенным потоком лазерного излучения и глубиной провара стыковых швов была обнаружена по всех сплавах. Для сварки сплава АМг4 использовали волоконный лазер с мощностью 6 или 10 кВт и при нескольких плотностях энергии от 0,4 кВт/м.

Авторы наблюдали, что при повышении удельной мощности пучка наплавленные валики шва получались уже и глубже [19].

1.3.1 Микроструктура

Термообработка, производимая в процессе лазерной сварки, приводит к значительным микроструктурным изменениям материалов, подвергающихся обработке. Эти изменения оказывают сильное влияние на механические и коррозионные свойства соединяемых частей. Далее приводится обзор полученных разными авторами результатов изучения свойств сварного шва.

При анализе микроструктуры обычно выделяются три различные зоны в наплавленном валике: зона сплавления, околошовная зона и основной металл. Протяженность каждой из зон зависит от сплава и условий, при которых выполнялась сварка [5].

Согласно работе свойства сварных швов определяются главным образом микроструктурой зоны плавления. Так, в зависимости от лазера и условия лазерной обработки микроструктура может состоять из столбчатых дендритов и/или равноосных зерен. Последняя микроструктура, лучше, чем первая в алюминиевых сплавах легированных цинком из-за ее изотропических свойств, что обеспечивает хорошие механические свойства швов, снижая их предрасположенность к растрескиванию во время отверждения [7].

Микроструктура стыковых швов алюминиевых сплавов (Д16, АМг4, АД35 и В95), получаемых с помощью мощного полупроводникового лазера в кондуктивном режиме, была глубоко исследована. Внешние зоны наплавленных валиков сплавов серий АМг4 и АД35 и зона сплавления вблизи основного металла характеризуются ростом дендритов, что соответствует зонам с повышенной скоростью отверждения. Кроме того, можно видеть, что микроструктура внутренней части зоны сплавления состоит из тонкого осадка вторых фаз в матрицу твердого раствора алюминия [17]. Анализируемая зона сплавления сварных швов алюминиевого сплава АК7пч, также состояла из

тонкой дендритовой структуры. Микроструктура зоны сплавления в сплавах серии Д16 и В95 постепенно менялась при приближении снаружи от околосшовной зоны к центру валика. В сварных швах сплавов серий Д16 и В95 микроструктура наружной части зоны сплавления определяется ростом дендритов (ориентированных к центру валика), превращаясь в более тонкое отверждение по мере приближения к центру валика [8].

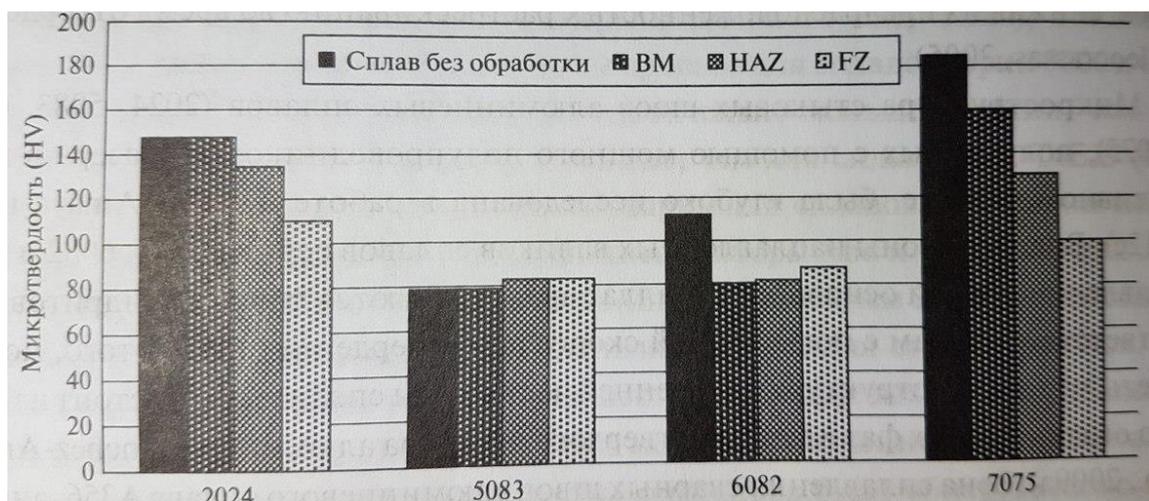


Рисунок 1.1 - Микротвердость различных зон швов алюминиевых сплавов

На рисунке 1.1 представлены результаты измерений микротвердости, выполненные в различных зонах сварных швов четырех алюминиевых сплавов (2024 (аналог Д16), 5083 (аналог АМг4), 6082 (аналог АД35) и 7075 (аналог В95)), полученных в аналогичных экспериментальных условиях [12]. Сплавы серии АМг4 показали зоны сплавления с более высокими значениями микротвердости, чем у основного металла. Аналогичные тенденции были обнаружены в других работах, в которых результаты исследований твердости зоны сплавления сплавов Al-Li, АМг4 или АК7пч показали повышение микротвердости [11]. В работе было зарегистрировано повышение микротвердости в интервале от 10 до 16%. Это изменение микротвердости обусловлено изменением микроструктуры и области сплавления. Так, повышение твердости в металле шва алюминиевых сплавов, легированных

магнием и магнием и кремнием объясняется тонкой структурой дендритов зоны сплавления шва [19] и тонким осадком вторых фаз в матрице алюминия [12].

Другие алюминиевые сплавы, такие как Д16 и В95, демонстрировали противоположную тенденцию, так что микротвердость зоны сплавления оказывалась ниже, чем у основного металла. Это снижение микротвердости связано с потерей твердости в результате исходной тепловой обработки. Эти способы предварительной тепловой обработки, как известно, вызывают процессы отверждения осадков в этих сплавах. Лазерные способы обработки вызывают микроструктурные изменения, которые приводят к снижению микротвердости, особенно в зоне сплавления. Снижение микротвердости, связанное с потерей твердости исходной тепловой обработки в зоне сплавления, также наблюдалось в швах сплавов легированных магнием и кремнием [15].

С целью минимизации эффекта различия в микроструктуре и свойствах у наплавленного валика и основного металла иногда после выполнения сварочных работ применяется термообработка швов. Эта дополнительная обработка способствует снижению микротвердости валика, связанному с укрупнением и растворением укрепляющих осадков [18].

1.3.2. Дефекты

Сварные швы алюминиевых сплавов могут страдать от различного типа дефектов, приводя к значительному снижению качества швов. К таким дефектам относятся: недостаточная глубина провара (из-за низкой поглотительной способности сплава) окисление шва (из-за нехватки защитного газа, поступающего и зону обработки), пористость (возникающая за счет захвата газа при отверждении шва), трещины (обусловленные высоким коэффициентом теплового расширения алюминиевых сплавов, что ведет к сильному сжатию в процессе застывания ванночки расплавленного металла), включения (такие как оксиды, вызывающие снижение текучести расплавленной алюминия перед его отверждением) [7] или потеря легирующих элементов (Li, Mg, Zn) [15]. Тщательный контроль технологических параметров (скорости сварки, мощности лазера, защитного газа), как сообщается, может минимизировать появление подобных дефектов [8].

1.3.3. Механические свойства

Усилия на разрыв основного металла, будут выше, чем у металла шва и околошовной зоны. Снижение прочности на разрыв металла шва связано с переходом характера разрушения из транскристаллического в межкристаллитный [19]. Также анализировались механические свойства (предел текучести и предел прочности на разрыв) сваренных образцов алюминиевого сплава серии АК7пч, обнаружив, что параметры, характеризующие механические свойства шва, достигают 80% величин аналогичных параметром основного металла [11]. Другие авторы также провели испытания прочности на разрыв основного металла и сварных швов, полученных в различных экспериментальных условиях сплавов серии АМгЗ и 6022. При сравнении с основным металлом прочность на разрыв швов колебалась от 83% до 90% для сплава серии АМгЗ, около 80% для сплава серии

АМг4 и от 64% до 73% для сплава серии АА6022. В то же время, разрыв при испытаниях на прочность всегда был локализован в области основного металла, а если рвались швы, то - в области зоны сплавления [12]. В следующей работе микрообразцы для испытаний на разрыв брались из различных зон сварных соединений сплава Серии АД33. Полученные результаты испытаний показали, что предел прочности на разрыв и вытягивание при разрыве металла в зоне сплавления составляют порядка 70% от показателей основного металла. Испытания предела прочности, показали, что швы при кондуктивной лазерной сварке оказались крепче, чем швы, полученные в режиме глубокого проплавления, демонстрируя нагрузки разрыва в 5,733 кН и 4,775 кН соответственно. Эти результаты связаны с более значительным снижением доли лигирующих компонентов в сплаве и меньшими размерами усадочной канавки, образуемой в режиме глубокого проплавления [8]. Наблюдалось ухудшение механических свойств (прочность на разрыв) сварных соединений при низких скоростях сварки (возможно, из-за более значительного селективного испарения магния в зоне сплавления) и при низких мощностях лазера (что приводило к высокой степени пористости металла) [7].

В заключение можно сказать, что результаты испытаний прочности на разрыв, приведенные в литературе, показывают, что сварка при оптимальных экспериментальных условиях создает швы, обычно достигающие не менее 70% предела прочности на разрыв, полученной для основного металла.

1.3.4. Коррозия

Относительно немного данных можно найти в отношении коррозионного поведении лазерных сварных швов алюминиевых сплавов. Недавно полученные результаты показывают, что наплавляемый валик обычно ведет себя как катод, тогда как основной металл, окружающий валик шва, обычно ведет себя как анод [13]. Поэтому кажется, что стойкость к коррозии зоны сплавления несколько усилена благодаря измельчению микроструктуры.

Однако эти различия коррозионной активности между основным металлом и валиком шва могут привести к нежелательной электрохимической коррозии. Электрохимическая коррозия, как это можно ожидать, приведет к различной степени межкристаллической коррозии в околошовной зоне, особенно в термически обрабатываемых сплавах, таких как сплавы легированные медью и сплавы легированные цинком. Этот вопрос, к сожалению, в литературе не исследуется систематически, и в настоящее время отсутствуют представления о фактическом влиянии экспериментальных условий использования лазера на восприимчивость к межкристаллической коррозии сварных швов различных алюминиевых сплавов. Обработка, выполняемая после процесса сварки, нацеленная на уменьшение восприимчивости к IGC швов алюминиевых сплавов, еще недостаточно изучена в литературе. Традиционная термическая обработка после сварки, согласно данным, повышает коррозионную стойкость швов перемешивающей сварки трением в алюминиевых сплавах [11]. Для этой цели использовалась лазерная обработка после сварки. Так, обработка лазерным плавлением поверхности выполнялась эксимерным лазером после перемешивающей сварки трением для Д16 и АА7010) и для Д16 и АА7449 [16]. при этом было достигнуто значительное повышение коррозионной стойкости. Эта LSM-обработка ведет к образованию тонкого слоя (3 - 10 мкм), в котором растворены составляющие частицы, а легирующие элементы сохраняются в твердом растворе [12]. Последующий лазерная обработка уменьшает межкристаллическую коррозию околошовной зоны и зоны плавления. Поверхностная обработка полупроводниковым лазером была использована после перемешивающей сварки трением сплавов Д16 и АМг4. Эти последние варианты лазерной обработки продемонстрировали образование более толстого слоя расплава (толще 100 мкм) и привели к усилению стойкости к образованию ямок по сравнению с исходным материалом. К сожалению, обработанные лазером слои могут отслаиваться от основного металла в результате распространения коррозии, поэтому эти способы обработки, требуют дальнейших исследований для обеспечения лучшей защиты. Вероятно,

следующим шагом станет создание уникальных лазерных устройств, способных одновременно выполнять и сварку, и LSM-обработку алюминиевых сплавов.

2.1 Режимы сварки

Теплопередача и поток расплавленного металла, характерные для процесса лазерной сварки, могут существенно повлиять на геометрию сварочной ванны, структуру затвердевания [11, 12] и привести к образованию дефектов [13]. Лазерная микросварка представляет собой процесс, при котором металл расплавляется и соединяется при их нагревании сфокусированным лазерным лучом.

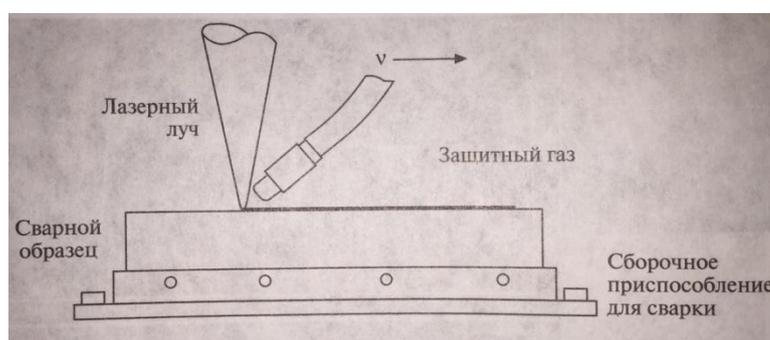


Рисунок 2.1 - Схема лазерной сварки, защитный газ предотвращает окисление поверхности в процессе сварки

На рисунке 2.1 показана схема установки для лазерной сварки. Фокусировка пучка используется для того, чтобы при заданной мощности лазера и скорости сварки расплавить заготовку или материалы, подготовленные для соединения. Защитный газ, а обычно в качестве его используется инертный газ, подается для защиты сварочной ванны от окисления (сопло устанавливается либо соосно лучу, либо сбоку). Некоторые характерные черты лазерной микросварки придают ей привлекательность, превращая ее в альтернативу другим видам микросварки (контактной микросварке или другой микросварке):

- Точные, узкие и глубоки швы, которые могут быть выполнены с высоким металлургическим качеством;

- Небольшая зона термического воздействия, что уменьшает металлургическое повреждение, а также позволяет создавать сварные швы вблизи от соседних термочувствительных деталей изделия;
- Низкая подача тепла в материал устраняет необходимость в сложной отсадке и позволяет без искажений сваривать толстые и тонкие секции;
- Высокая скорость процесса (скорость сварки свыше 10 м/мин может быть достигнута в материалах толщиной около 1 мм);
- Гибкость организации процесса: излучение от одного лазера может быть распределено между целым рядом рабочих станций;
- Сварные швы могут быть выполнены при соединении элементов из разнородных и разнотолщинных материалов со сложной геометрией.

Лазерная микросварка металлов классифицируется двумя режимами сварки: режим проводимости и режим с образованием канала проплавления (иногда этот режим называют сваркой с глубоким проплавлением) [14, 15]. Мощность лазерного луча и размер сфокусированного пятна относительно заготовки будут определять режим сварки.

Некоторые ограничения на использование микросварки в режиме проводимости возникают в случае, если лазерный луч не сфокусирован и плотность мощности оказывается недостаточной для того, чтобы при данной скорости сварки вызвать кипение (рисунок 2.2).

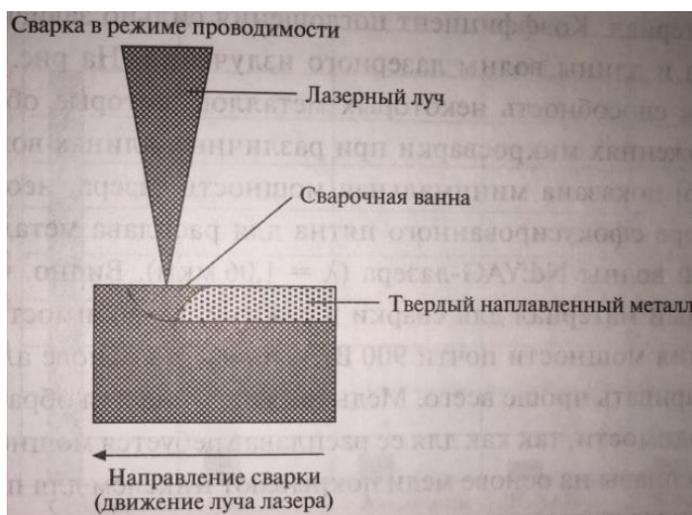


Рисунок 2.2 Основы лазерной сварки в режиме проводимости

В этом режиме сварка может вестись или лазером, работающим в импульсном режиме (PW), путём перекрытия точек, или лазером, работающим в непрерывном режиме (CW). Энергия излучения поглощается поверхностью материала, и объём под поверхностью нагревается за счёт теплопроводности. Можно оценить минимальную мощность лазера, необходимую для расплавления поверхности материала, с помощью простого уравнения [10]. Когда стационарный гауссов пучок взаимодействует с поверхностью материала, зависимость распределения температуры от мгновенного точечного источника в полубесконечном теле в зависимости от времени $T(t)$ определяется по формуле [17]:

$$T(t) = \frac{2\Lambda W}{\frac{3\pi}{2}} \tan^{-1} \left[\frac{4}{d} \sqrt{\alpha t} \right], \quad (1)$$

где d - диаметр сфокусированного лазерного пятна,

W - мощность лазера,

Λ –поглощательная способность поверхности,

K –теплопроводность

α – коэффициент тепловой диффузии.

Таким образом, минимальная мощность лазера необходимая, чтобы расплавить металл до температуры расплава T_m , определяется по формуле:

$$W_m = \frac{\sqrt{\pi K d T_m}}{\Lambda}. \quad (2)$$

Одним из наиболее важных параметров, влияющих на эффект взаимодействия лазерного излучения с материалом, является коэффициент поглощения материалом лазерного излучения, и этот коэффициент в

значительной степени зависит от длины волны и температуры [18]. Когда лазерный луч попадает на материал мишени, часть энергии отражается, другая часть поглощается и нагревает материал. Коэффициент поглощения сильно зависит от облучаемого материала и длины волны лазерного излучения. На рисунке 2.3 показана поглощательная способность некоторых металлов, которые обычно используются в приложениях микросварки при различных длинах волн лазера [18]. На рисунке 2.4 показана минимальная мощность лазера, необходимая при заданном размере сфокусированного пятна для расплава металлов и микросварке с длиной волны Nd:YAG-лазера ($\lambda = 1,06$ мкм). Видно, что серебро – наиболее трудный материал для сварки в режиме проводимости, требующий для расплавления мощности почти 900 Вт. Сплавы на основе алюминия, стали и никеля сваривать проще всего. Медь также трудна для обработки сваркой в режиме проводимости, так как для ее расплава требуется мощность примерно 300 Вт. Иногда сплавы на основе меди покрывают никелем для повышения поглощения лазерного излучения и снижения мощности лазера, необходимой для сварки этого материала.

При сварке в режиме образования парогазового канала или режиме глубокого проплавления (рисунок 2.5) поверхность металла нагревается с помощью сфокусированного лазерного луча (в пятне повышенная плотность мощности) до температуры, когда испарение поверхности создает достаточное давление отдачи паров, чтобы вдавить поверхность расплава в полость или небольшой канал. Канал увеличивается в глубину из-за повышенного влияния излучения на заготовку через многократные отражения лазерного луча от стенок канала - и материал испаряется [15, 19]. Баланс между гидростатическими силами жидкого металла вокруг канала управляет его динамикой, давление испарения, ионизируемой плазмой внутри него.

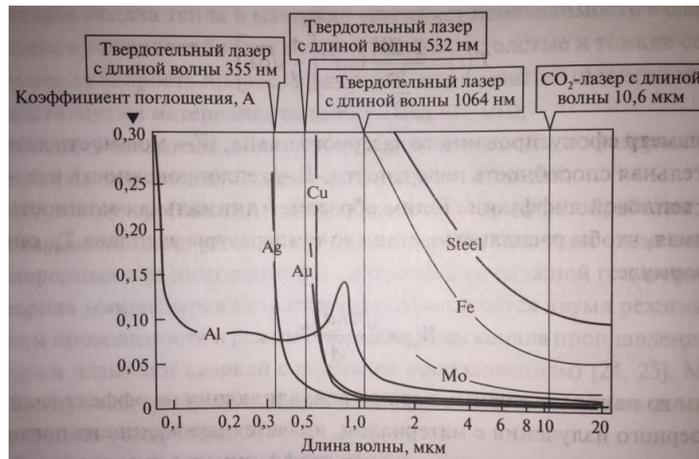


Рисунок 2.3 - График зависимости коэффициента поглощения от длины волны для различных металлов и источников лазерного излучения

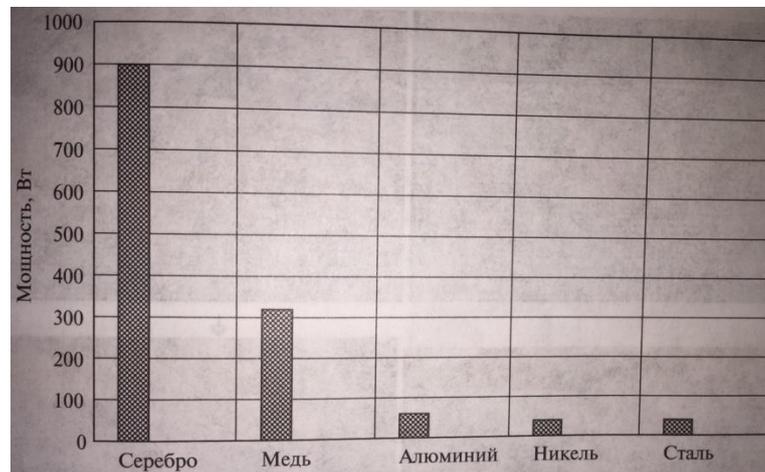


Рисунок 2.4 - Минимальная мощность лазерного, необходимая для расплава различных металлов импульсным Nd:YAG-лазером[26]

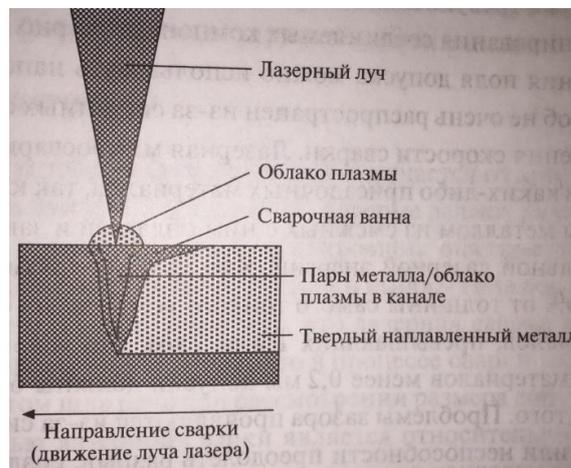


Рисунок 2.5 - Основы лазерной сварки в режиме канала или глубокого проплавления

2.2 Последовательность выбора оптимальных режимов ИЛС

Для того, чтобы определить последовательность выбора оптимальных режимов, необходимо в первую очередь рассмотреть параметры сварного соединения, выполненного ИЛС. При сварке сварной шов формируется последовательным наложением отдельных сварочных точек. Сварной шов имеет следующие параметры: b - ширина шва, h - глубина проплавления, p - шаг следования сварных точек. Сварной шов также может иметь различную форму проплавления в поперечном сечении.

Важным параметром сварного шва, определяющим его герметичность и влияющим на прочность сварного соединения, является коэффициент перекрытия сварного шва. Коэффициент перекрытия зависит от диаметра пятна нагрева, скорости сварки и частоты следования.

При выборе режима сварки необходимо придерживаться следующей последовательности определения параметров режима.

Во-первых, необходимо определить необходимую ширину шва b . Ширина шва определяется в зависимости от толщин свариваемых деталей и геометрии места соединения свариваемых кромок деталей. При сварке деталей малых толщин (до 0,5 мм) рекомендуется выбирать ширину шва в пределах от 3 до 6 толщин более тонкой детали [14].

Ширина шва будет определяться таким параметром режима, как диаметр сфокусированного на поверхность детали пятна нагрева. Один и тот же диаметр пятна нагрева можно получить при расположении фокуса луча над поверхностью детали и под ней. При заглублинии фокуса можно получить швы с большим проплавлением. Однако, при таком расположении фокуса, в случае прогиба сварочной ванны, плотность мощности на ее поверхности увеличивается и испарение металла становится более интенсивным, что может привести к возникновению прожогов. При сварке деталей из особо тонких материалов, чтобы избежать прожогов, рекомендуется располагать фокус над поверхностью деталей [2]. Длительность импульса характеризует время

воздействия излучения на материал и, следовательно, является временем, за которое, происходит нагрев и расплавление металла. Для каждого материала и толщины, которую необходимо проплавить, существует оптимальный диапазон длительностей импульса, в пределах которого возможно получение сварного соединения без чрезмерного выброса материала из зоны нагрева [2]. На практике при использовании импульсной лазерной сварки необходимо выбирать длительности импульсов ближе к верхнему пределу оптимального диапазона, исходя из технических возможностей лазерных установок.

Далее необходимо определить энергию в импульсе излучения, исходя из необходимых размеров проплавления от одиночного импульса лазерного излучения. При сварке внахлест общая глубина проплавления должна складываться из толщины верхней детали h_1 и глубины частичного расплавления нижней детали h_2 . При сварке встык необходимо обеспечить полное проплавление деталей.

При использовании метода конечных разностей для определения оптимальной энергии в импульсе лазерного излучения с заданной формой распределения плотности мощности по пятну нагрева мы имеем возможность определить форму и размеры проплавления в продольном сечении от одиночного импульса лазерного излучения.

Зная форму и размеры проплавления, необходимо определить шаг сварных точек, при которой будет соблюдаться требование герметичности сварного соединения. Для этого необходимо, чтобы выполнялось условие перекрытия сварных точек в продольном сечении стыка деталей.

Затем необходимо выбрать частоту следования импульсов, которая обеспечивала бы более благоприятный термический цикл в точках сварного шва, в зависимости от размеров свариваемых деталей и, соответственно условий отвода тепла из зоны сварки.

При выбранных размерах пятна нагрева, частоте следования импульсов определим скорость сварки, которая обеспечит необходимый шаг сварных точек p по формуле [14]:

$$V = p \cdot f_u \quad (3)$$

Полученную скорость сварка необходимо обеспечить настройкой скоростью перемещения координатного стола. Скорость сварки будет определять производительность процесса сварки, поэтому по возможности необходимо стремиться к ее увеличению.

2.3 Выбор оптимальной частоты следования импульсов

Оптимальную частоту следования импульсов лазерного излучения необходимо выбирать, исходя из следующих соображений:

1) частота следования импульсов должна быть такой, чтобы обеспечивать более «мягкий» термический цикл в точках сварного шва

2) частота следования импульсов не должна превышать значения, при котором тепловложение в свариваемые детали будет являться избыточным

3) необходимо стремиться к увеличению частоты следования импульсов при выполнении условий 1, 2 с целью повышения скорости сварки, и, соответственно, производительности процесса сварки

Импульсная лазерная сварка характеризуется жестким термодформационным циклом. На характер термического цикла при сварке импульсным источником энергии в первую очередь влияет такой параметр режима, как жесткость режима импульсной сварки. Жесткость режима определяется по формуле [9]

$$G = \frac{t_n}{t_u}, \quad (4)$$

где t_n - длительность паузы;

t_u - длительность импульса.

Для импульсной лазерной сварки с пределами изменения длительности импульса от 2 до 8 миллисекунд и изменением частоты следования импульсов от 1 до 10 Гц жесткость режима сварки принимает значения 12...500. Кроме

того, на термический цикл будет оказывать существенное влияние условия теплоотвода из зоны сварки, которые определяются теплофизическими характеристиками материала и толщиной деталей.

За время t_u действия импульса источника мощностью q_u в изделие вводится количество энергии :

$$E_u = t_u \cdot q_u \quad (5)$$

Погонная энергия по длине сварного шва, полученного наложением сварных точек с шагом p определяется выражением:

$$Q_n = \frac{E_u}{p} \quad (6)$$

Этот показатель используется для определения энергетической характеристики импульсного источника [11].

3.1 Применения лазерной сварки в автомобильной промышленности

Современные лазерные источники с высокой яркостью – это ключ к высокоэффективному производству в автомобилестроении. Улучшенное качество пучка и высокая энергетическая эффективность позволили лазерным методам конкурировать с другими традиционными сварочными технологиями в областях, где для соединения деталей используются иные подходы

Лазерная сварка алюминия и кузовном цехе Audi отличается от дистанционной сварки стали необходимостью применять дополнительную присадочную проволоку. Присадочной проволоке надо обеспечить требуемые прочностные свойства лазерного шва и уменьшить хрупкость. Присадочная проволока, которая используется для 6000 алюминиевых соединений, представляет собой сплав с содержанием 12%-го кремния. С добавлением присадочной проволоки содержание компонентов сплава в расплаве превышает критическое значение устойчивости к растрескиванию, а минимальный объем фракции должен не превышать 2%. Присадочная проволока также используется в качестве направляющей и процессе лазерной сварки. Проволока крепится ниже оправки рабочей оптики и направляет ее вдоль геометрии шва. Присадочный материал подают в область лазерного пятна, где он плавится и помогает процессу сварки. Для получения шва лучшего качества и увеличения скорости сварки используется система горячей подачи проволоки, в которой присадочную проволоку можно предварительно подогревать.

Высокая отражающая способность алюминия в режиме облучения с длиной волны 1 мкм может привести к проблемам при лазерной сварке. Когда лазерный луч падает почти перпендикулярно на гладкую поверхность, то в зависимости от шероховатости поверхности алюминиевого листа отражается от 80 до 99% излучения. Когда высокоэнергетический сфокусированный лазерный пучок рассеивается обратно в сторону от оптической системы, это может привести к полному разрушению лазерных компонентов или волокна. По этой причине для оптимизации лазерной сварки во время ведения процесса можно

воспользоваться зависимостью коэффициента поглощения алюминиевой поверхностью лазерного излучения от его длины волны. Более высокое поглощение означает, что энергия лазерного источника может быть использована более эффективно для плавления металла. Кривая поглощения алюминия возрастает и имеет локальный максимум при длине волны 800 нм, а при более высоких длинах волн она резко падает. Это приводит к различным эффектам при лазерной сварке лазерами с более высокими рабочими длинами волн. Рабочие длины волн дискового и волоконного лазеров лежат в диапазоне около 1030 и 1070 нм, что соответствует 5%-му поглощению материалом падающего излучения. Но надо учесть, что для генерации высокой выходной мощности используют удвоенные источники. При паре диодов, излучающих в области длин волн между 900 и 1000 нм, поглощение алюминия оказывается увеличенным в два раза. В этом диапазоне длин волн процесс лазерной сварки может быть инициирован более эффективно. Это является одной из причин того, почему направленные диодные лазеры предпочтительны для лазерной сварки алюминия.

3.2 ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ДВЕРЕЙ Audi A6: ТРЕБОВАНИЯ ПРОЕКТА

Помимо общих преимуществ использования лазерной сварки для стальных дверей Audi A4/Q5, существуют дополнительные потенциальные возможности для снижения веса автомобиля - это использование легких материалов для структурных компонентов кузова и навесных частей. Плотность алюминия – 2,71 г/см³, поэтому он примерно в три раза легче, чем сталь.

Обсудим подробно некоторые специфические особенности лазерной сварки алюминия. Прежде всего, алюминиевые листы, используемые в производстве дверей, не оцинкованы, как это делается для защиты от коррозии в случае стальных дверей. Поверхность чистого алюминиевого листа вступает в реакцию с кислородом воздуха и покрывается слоем аморфного оксида. Этот

слой Al_2O_3 , очень устойчив и, естественно, защищает поверхность алюминия от внешнего воздействия. В нормальных условиях очень тонкий слой оксида начинает расти сразу же. Для процесса лазерной сварки этот оксидный слой действует как своего рода тепловой щит. Чтобы расплавить слой алюминия, лазерная энергия должна преодолеть оксидный слой и достичь объема самого алюминия. Температура плавления оксидного слоя $2054^{\circ}C$, что гораздо выше, чем температура плавления чистого алюминия — $660,32^{\circ}C$. Из-за «энергии активации», обусловленной толщиной листа независимого оксидного слоя, толщина самого алюминиевого листа ограничена до минимума для стабильного процесса лазерной сварки. Минимальная толщина верхнего листа для дверей Audi A6 составляла 1,2 мм. Если толщина листа составляет менее 1,2 мм, то тепло, активирующее разрушение оксидного слоя, не может проникнуть в толщу металла, не вызывая горячие трещины или другие дефекты.

Перед проектировщиками стояла цель уменьшить число отдельных деталей для сборки двери, хотя существуют технологические ограничения и ниже некоторого предела переступить нельзя. Степень глубокой вытяжки внутренней секции была слишком высокой, чтобы ее можно было произвести как единое целое. По этой причине внутренняя часть двери состоит из двух частей (1,2 мм и 1,5 мм), которые соединены с помощью лазерной сварки. Этот сваренный узел затем соединяется с внешним элементом дверной рамы. Число отдельных структурных частей в конструкции двери Audi L6 может, таким образом, сводиться к трем. Слой ноной концепцией дверей общая экономия веса может составить более 10 кг по сравнению с предыдущими моделями. Общая длина лазерного шва двери Audi A6 достигает почти 10 м. Геометрические формы шва представляют собой угловые и нахлесточные соединения. Для оптимальной сварки поверхность алюминиевых листов должна быть очищена от масла и осушающей смазки, которые обычно используются в процессе производства отдельных частей. В случае неполного удаления поверхностные загрязнения приведут к увеличению количества пор, что снизит прочность соединения. Поры также могут быть источником

коррозии. Одним из способов очистки поверхности алюминия является так называемая лазерная чистка.

3.3 Лазерная сварка дверей Audi A6: реализации

Для алюминиевых дверей Audi A6 был применен диодный лазер с эффективностью около 40% и BPP = 33 мм·мрад с максимальной выходной мощностью 4 к Вт. Это качество луча достаточно хорошо для классической лазерной сварки с рабочим расстоянием около 200 мм. Для более высокого качества шва в процессе лазерной сварки использовали аргон в качестве защитного газа.

Высокая степень преобразования электрической энергии в оптическую и относительно низкие инвестиционные затраты в сочетании с предпочтительным для сварки алюминия излучением в диапазоне длин волны (900 - 1000 нм) делают этот лазер идеальным инструментом для такой работы. Используемая лазерная оптика является адаптивной оптической системой лазерной обработки (ALO3) от Scansonic IPT GmbH. В устройство ALO3 интегрировано несколько функций, таких как оптическая система формирования пучка с дополнительным модулем автофокуса и датчиками отслеживания швов. С помощью этих функций отклонение сварного шва в миллиметровом диапазоне от запрограммированной траектории робота может быть автоматически компенсировано.

Проблема сварки двери Audi A6 заключалась в соединении трех отдельных частей двери 49 лазерными швами за цикл длительностью 300 с. для одной двери. В связи с высокими оптическими и функциональными требованиями к качеству сварных швов скорость сварки была ограничена 3 м/мин. Для того чтобы положения всех 49 швов были доступны для одного шестиосного робота, было использовано вращающееся фиксирующее устройство. Высокая динамика перемещения робота может быть достигнута в процессе сварки, если избежать движений робота через одноосевые

сингулярности. Так называемые осевые сингулярности - это фиксированные места в роботизированной системе отсчета, где два или более соединения не могут контролироваться независимо расположенными и ориентированными инструментами. В Американском национальном стандарте для промышленных роботов и роботизированных систем сингулярность определяется как «состояние, вызванное коллинеарным выравниванием двух или более осей робота, которые приводит к непредсказуемому движению и скоростям работ.

3.4 Лазерная сварка двери багажника Audi A8

Требования данного проекта были похожи на те, что предъявлялись к лазерной сварке боковых дверей. Задняя дверь Audi A8 не могла быть получена также в виде единого компонента из-за высокой степени глубокой вытяжки в области выемки для эмблемы. Вследствие этого для фрагментированной двери багажника было дано указание, что соединение, в этом случае лазерный шов с нулевым зазором, не должно быть видно клиенту как стык двух отдельных частей и, кроме того, после сварки было недопустимо проводить дополнительную обработку.

Таким образом, был выбран метод лазерной сварки с его очень высоким качеством шва. Для повышения качества шва до максимума был использован дополнительный защитный газ (гелий). Основные условия задней двери Audi A8 были похожи на те, что описаны для Audi A6. Время цикла было также 300 с, а скорость сварки – 3м/мин. Была использована та же тактильно управляемая оптика (ALO3) в сочетании с 4 к/Вт прямым лазерным диодом Laserline (LDF 4000-40). Длина шва при сварке задней двери была примерно 1 м.

4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной главе рассчитаны финансовые затраты для реализации проекта. Также исследован уровень коммерциализации и описаны пути его повышения.

Предполагаемый конечный продукт: Вторичный источник питания с корпусом из легкого высокотеплопроводящего сплава АМгб.

Целевой рынок: предприятия космической отрасли.

4.2 SWOT-анализ

Для того чтобы приступить к оценке коммерциализации проекта, а также расчету бюджет необходимо провести 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. Результаты данного анализа представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - SWOT-анализ научно-исследовательского проекта

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Уменьшение веса конструкции ВИПа. С2. Высокая теплопроводность из корпуса АМгб. С3. Низкая стоимость материала для	Сл1. Необходимость отработки технологии герметизации. Сл2. Необходимость проведения испытаний на сохраняемость.

	<p>изготовления корпуса.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>СлЗ. Необходимость проведения климатических испытаний.</p>
<p>Возможности:</p>		
<p>В1. Использование инфраструктуры ТПУ, АО «НПЦ «Полюс».</p> <p>В2. Применение технологии в космической технике.</p> <p>В3. Спрос на технологию.</p> <p>В4. Реализация в промышленных масштабах.</p>	<p>Так как работа выполнялась на предприятии АО «НПЦ «Полюс», то есть заинтересованность со стороны государственных предприятий, следовательно, наличие финансирования.</p>	<p>Требуется проведение длительных и дорогостоящих испытаний что может послужить основной причиной невозможности реализовать процесс коммерциализации технологии.</p>
<p>Угрозы:</p>		
<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Длительный срок окупаемости.</p> <p>У3. Несвоевременное</p>	<p>Несвоевременное финансовое обеспечение может остановить развитие и усовершенствование</p>	<p>В настоящее время вторичный источник питания уже изготавливается из ковара (29НК), по сравнению с</p>

<p>финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>технологии, а также замедлить процесс внедрения имеющейся технологии на промышленный уровень.</p>	<p>которым, разрабатываемый в данной работе метод может быть более финансовозатратным. Наличие длительных и дорогостоящих испытаний могут привести к медленному темпу окупаемости проекта.</p>
-----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В представленной выше таблице перечислены все возможности и сопутствующие им сильные стороны проекта, которые в дальнейшем помогут осуществить его. Но, как и у каждого проекта, у него есть свои слабые стороны и угрозы. Данная таблица позволяет оценить на каком этапе находится работа, а также предпринять меры по устранению некоторых угроз и слабых сторон.

4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Ниже представлена таблица степени готовности к коммерциализации научной разработки. Оценка осуществляется по шкале от 1 до 5 (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Наименование	Наименование
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	3
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	1
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1

Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
Итого баллов:	27	29

Перспективность проекта ниже среднего, следовательно, для реализации проекта необходимо привлечь специалистов в сфере маркетинга, продумать вопросы финансирования со стороны предприятий космической отрасли.

1. В качестве методов для коммерциализации технологии изготовления вторичных источников питания из АМгб можно выбрать следующие методы: торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. В случае полной доработки проекта есть возможность запатентовать технологию.
2. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия. Так данная работа осуществляется непосредственно на предприятии АО «НПЦ «Полюс», то интеллектуальная собственность может перейти предприятию, на котором будет применяться в целях изготовления вторичных источников питания из АМгб. Данное предприятие будет финансировать развитие научно-технического исследования, следовательно, разработка может дойти до конечного готового результата.

4.4 Бюджет научно-исследовательского проекта

Для коммерциализации разрабатываемой технологии необходимо рассчитать бюджет научного исследования (проекта). В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, все данные представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Группировка затрат по статьям

Вид работ	1	2	3
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты, руб.	0	0	2888
Специальное оборудование для научных	0	0	0

(экспериментальных работ), руб.			
Основная заработная плата, руб.	2700	87285	0
Дополнительная заработная плата, руб.	0	10474	0
Отчисления на социальные нужды, руб.	0	29426	0
Научные и производственные командировки, руб.	0	0	0
Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями, руб.	0	0	0
Прочие прямые расходы, руб.	0	0	0
Накладные расходы, руб.	0	68431	0
Итоговая себестоимость, руб.	2700	195616	288

Ниже представлены все необходимые расчеты, которые были сведены в таблицу 4.5.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 - 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таблица 4.5 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, толщина	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
АМг6	АМг6, толщина 12	10кг	275000	2750
Всего за материалы:				2750
Транспортно-заготовительные расходы (3 – 5%)				138
Итого:				2888

В научном проекте производится только замена материала конструкции, на более легкий и теплопроводящий, оборудование остаётся тем же самым.

Данный раздел также включает в себя одну из основных составляющих бюджета проекта - заработная плата исполнителя и руководителя.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} = 87285 + 10474 = 97759,$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера)

от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником.

$Z_{\text{дн}}$ – средняя заработная плата работника.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{м}} * M / F_{\text{д}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Число дней в году	365	365
Количество нерабочих дней:		
-выходные дни	76	149
-праздничные дни	14	11
Потери рабочего времени:		
-отпуск	28	0
-пропуски по случаю болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	205

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Из выше представленных показателей можно отметить, что технология, разрабатываемая в данной работе, является более ресурсоэффективной.

5 Социальная ответственность

Введение

В данном разделе рассматриваются вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда при работе в сварочной лаборатории.

Раздел содержит анализ опасных и вредных факторов, возникающих при работе с лазерной установкой и решает вопросы их безопасности в чрезвычайных ситуациях на основе требований действующих нормативно-технических документов. Основная задача работы состоит в том, чтобы изучить технологию лазерной сварки алюминиевых сплавов и подобрать оптимальные параметры для сварки пластин материала АМгб.

5.1 Производственная безопасность

Рассмотрены следующие вредные факторы:

- повышенный уровень шума;
- недостаточная освещенность;
- неблагоприятные условия микроклимата.

А также опасный фактор:

- электробезопасность.

5.1.1 Повышенный уровень шума

При сварке и сборке часто используют инструменты ударного воздействия: шлифовальная машина и т.д., которые создают лишний шум, вредно действующий на организм. У лиц, работающих в условиях постоянного шума, наблюдается повышенная утомляемость, нарушается концентрация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие

звуковых и световых сигналов опасности, что способствует росту травматизма на производстве.

Шумы в цехах превышают допустимые нормы (табл. 5.1), главным образом, вследствие нерациональной конструкции или неправильной установки машины или установки. Но наряду с этим многие шумы связаны с технологическими процессами, и они неизбежны. Поэтому для уменьшения шумов необходимо изолировать данное оборудование в отдельное помещение и установить на отдельный фундамент.

Таблица 1 – Нормы шума [4].

Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ А
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется организовывать 10 – 15 минутные перерывы после каждого часа работы и проводить комплекс физиопрофилактических мероприятий. Одним из направлений борьбы с шумом является созданием шумопоглощающих устройств в самом технологическом образовании, например [22]:

- все вентиляционные установки монтируются на вибрационных подушках;

- оборудование целесообразно помещать в звукоизолирующее ограждение;

- окружные скорости колёс у вентиляторов принять до 30-40 м /сек;

- скорость воздуха в воздухоотводах не более 12 м/сек.

Параметры шума на рабочем месте нормируются ГОСТ 12.1.003 – 83 и санитарными нормами СН 2.2.42.1.8.562 – 96.

5.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Естественное освещение осуществляется за счет прямого и отраженного света солнца. Различают боковое естественное освещение – через световые проемы (окна) в наружных стенах и верхнее естественное освещение, при котором световой поток поступает через световые проемы, расположенные в верхней части здания (крыше). Если используется оба вида освещения, то оно называется комбинированным.

Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется нормами СП 52.13330.2011 в зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном.

Общее освещение должно осуществляться с помощью газоразрядных источников света. В производственных помещениях высотой менее 6 м должны применяться люминесцентные лампы, высотой более 6-8 м – газоразрядные лампы высокого давления. Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (K_p) должен быть не больше 10%. При работах с мелкими изделиями в осветительных установках должны применяться люминесцентные лампы [12].

5.1.3 Неблагоприятные условия микроклимата

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата на рабочих местах с категорией работ 1а, к которым относится сварочная и учебная лаборатория, должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года				Холодный	Теплый
Оптимальная				22-24	23-25
Температура, °С	воздуха	допустимая	Диапазон ниже оптимальных величин	20-21,9	21-22,9
			Диапазон выше оптимальных величин	24,1-25	25,1-28
	поверхностей	оптимальная		21-25	22-26
		допустимая		19-26	20-29
Относительная влажность воздуха, %	оптимальная			60-40	
	допустимая			15-75	
Скорость движения воздуха, м/с	оптимальная			0,1	
	допустимая	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более		0,1	
		Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более		0,1	0,2

Интенсивность теплового облучения рабочих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляция на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности тела и более. 70 Вт/м² – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50% и 100 Вт/м² – при облучении не более 25% поверхности тела. При наличии теплового облучения рабочих температура воздуха на работах местах при категории работ 1а не должна превышать 25°С [26].

5.1.4 Электробезопасность

Основными причинами электрических травм – является повышенное напряжение электрической цепи, создаваемое опасность поражения электрическим током, степень тяжести которого зависит в основном от величины напряжения и условий включения человека в электрическую цепь. Электрический ток, проходящий через человеческий организм, обратно пропорционален его сопротивлению (расчетное значение 1000 Ом) и общему сопротивлению участка цепи [20].

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо следовать следующим правилам техники безопасности:

- необходимо надежно заземлять корпуса импульсных модуляторов (приставок), ИП и установок, а также свариваемое изделие;
- запрещено касаться голыми руками (без диэлектрических перчаток) токонесущих частей сварочных установок, а также проводов без изоляции или с поврежденной изоляцией;
- перед началом работ необходимо проверять исправность изоляции сварочных проводов, сварочного инструмента и оборудования, а также надежность всех контактных соединений сварочной цепи;
- при длительных перерывах сварочного процесса источник сварочного тока и модулятор следует отключать;

- при прокладке сварочных проводов и при каждом их перемещении не допускать: повреждения изоляции, соприкосновения проводов с водой, маслом, стальными канатами, рукавами (шлангами) и трубопроводами с горючими газами и кислородом, а также с горячими трубопроводами;

- нельзя ремонтировать сварочное оборудование и установки, находящиеся под напряжением;

Все электрооборудование сварочных цехов и участков должно соответствовать «Правилам устройства электроустановок». Кроме того, следует выполнять указания по эксплуатации и безопасному обслуживанию электросварочных установок.

Обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр и специальное обучение. Каждый рабочий обязан знать, как оказать первую помощь пострадавшему от действия электрического тока.

В случае поражения сварщика электрическим током необходимо срочно отключить ток ближайшим выключателем или отделить пострадавшего от токоведущих частей, используя сухие подручные материалы (шест, доску и др.). После этого положить его на теплую подстилку и по возможности согреть. Немедленно вызвать медицинскую помощь, учитывая, что промедление свыше 5-6 минут может привести к непоправимым последствиям. При бессознательном состоянии пострадавшего следует освободить от стесняющей одежды и немедленно приступить к искусственному дыханию, также необходимо находиться рядом с пострадавшим до прибытия врача.

5.2 Экологическая безопасность

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

При проведении исследования образовывались следующие отходы: остатки сварочной проволоки, которая впоследствии утилизировалась. Не производились вредные выбросы в водные источники и атмосферу, радиационного заражения не происходило, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

5.2.2 Обоснования мероприятий по защите окружающей среды

При использовании нашего аппарата присутствуют твердые неорганические отходы: макулатура и металлические отходы, такие как остатки неиспользуемой сварочной проволоки.

Переработка макулатуры представляет собой многоэтапный процесс, цель которого заключается в восстановлении бумажного волокна и использование их в качестве сырья для производства новой бумаги.

Рассортированные по типу материала металлические остатки взвешиваются и передаются в место переработки. Там их в зависимости от химического состава переплавляют, и они идут на дальнейшее формирование сварочных присадок, таких как сварочная проволока, электроды, неплавящиеся электроды.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Пожар

Одним из наиболее вероятных видов ЧС при сварочных работах является пожар на рабочем месте.

Источниками пожара при проведении сварочных работ являются: открытый огонь (сварочная дуга, пламя газовой горелки и резки); искры и частицы расплавленного металла; повешенная температура изделий, которые подвергаются сварке.

Все цеха, участки и рабочие места сварщиков должны быть обеспечены противопожарным инвентарем. Для ликвидации очага загорания в электропроводке, электрических машинах и трансформаторах применяют углекислотные огнетушители, предварительно обесточив эти очаги. В случае возникновения пожара надо немедленно принять меры к его ликвидации имеющимися средствами и при необходимости вызвать пожарную команду.

Сварочные работы разрешается производить на расстоянии не менее 5 метров от горючих материалов и не ближе 10 метров от емкостей с легковоспламеняющимися жидкостями.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.

Предполагается, что человек будет работать оператором, поэтому он практически не будет подвержен опасным факторам. Но в крайнем случае возможно отравление аргоном, поэтому при повреждении здоровья или в случае смерти работника вследствие несчастного случая на производстве либо профессионального заболевания работнику (его семье) возмещаются его утраченный заработок (доход), а также связанные с повреждением здоровья

дополнительные расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию либо соответствующие расходы в связи со смертью работника.

Виды, объемы и условия предоставления работникам гарантий и компенсаций в указанных случаях определяются федеральными законами [20].

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86 [25].

Общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов устанавливает стандарт ГОСТ 12.2.032-78.

Вывод

Лазерная сварка обладает следующими преимуществами: возможность очень точной дозировки энергии, поэтому удается обеспечить получение качественных соединений при изготовлении очень мелких деталей. Для мощных газовых лазеров преимуществом является получение большой глубины проплавления при малой ширине шва. Это позволяет уменьшить зону термического влияния, сократить сварочные деформации и напряжения. Лазер может быть расположен на достаточно большом удалении от места сварки, что в ряде случаев дает существенный экономический эффект. Легкость управления лазерным лучом с помощью зеркал и волоконной оптики позволяет осуществлять сварку в труднодоступных, иногда не находящихся в пределах прямой видимости местах. Производится в атмосферных условиях, без создания вакуума. К недостаткам лазерной сварки относятся: высокая сложность и стоимость оборудования, низкий КПД лазеров.

Список литературы

1. Sanchez-Amaya, J. M., Delgado, T., Gonzalez-Rovira, L., and Botana, F. J. (2009b) Laser welding of aluminum alloys 5083 and 6082 under conduction regime, *Appl Surf Sci*, 255(23), 9512-9521.
2. Sakamoto, H., Shibata, K. and Dausinger, F. (2003) Effect of alloying elements on weld properties in CO₂ laser welding of aluminum alloys, *Welding international*, 17(7), 509-513.
3. Abe, N., Tsukamoto, M., Maeda, K., Namba, K. and Morimoto, J. (2006) Aluminum alloy welding by using a high power direct diode laser, *J LASER APPL*, 18(4), 289-293.
4. Ahmed, H., Wells, M. A., Maijer, D. M., Howes, B. J. and Van der Winden, M. R. (2005) Modelling Of microstructure evolution during hot rolling of AA5083 using an internal state variable approach integrated into an FE model, *MATER SCI ENG A-STRUCT*, 390 (1-2), 278-290.
5. Akhter, R., Ivanchev, L. and Burger, H. P. (2007) Effect of pre/post T6 heat treatment on the mechanical properties of laser welded SSM cast A356 aluminium alloy. *MATER SCI ENG A-STRUCT*, 447, 192-196.
6. Ancona, A., Lugara, P. M., Sorgente, D. and Tricarico, I. (2007) Mechanical characterization of CO₂ laser beam butt welds of AA5083, *J MATER PROCESS TECH*, 191, 381—384. ANSI AWS 017.1:2001 Specification for fusion welding aerospace applications, American Welding Society.
7. Assuitcao, E., Williams S. and Yapp D. (2012) Interaction time and beam diameter effects on the conduction mode limit. *OPT LASERS ENG*, 50, 823—828.
8. Balasubramanian, T.S., Balasubramanian, V. and Muthu Manickam, M.A. (2011a) Fatigue crack growth behaviour of gas tungsten arc, electron beam and laser. *MATER DESIGN*, 32, 4509-4520.
9. Campana, G., Ascari, A., Fortunato, A. and Tani, G. (2009) Hybrid laser-MIG

- welding of aluminum alloys: the influence of shielding gases, *APPL SURF SCI*, 255(10), 5588-5590.
- 10.Cheng, Y., Jin, X., Li, S. and Zeng, L. (2012) Fresnel absorption and Inverse Bremsstrahlung absorption in an actual 3D keyhole during deep penetration CO₂ laser welding of aluminum 6016, *OPT LASER TECHNOL*, 44, 1426—1436.
 - 11.Cho, J.H., Farson, D.F., Milewski, J.O. and Hollis, K.J. (2009) Weld pool flows during initial stages of keyhole formation in laser welding, *J PHYS D: APPL PHYS*, 42. 175502.
 - 12.Chung, B.G., Rhee, S. and Lee, C. H. (1999) The effect of shielding gas types on CO₂ laser tailored blank weldability of low carbon automotive galvanized steel, *MATER SCI ENG A — STRUCT*, 272(2), 357 362.
 - 13.Di Sabatino, M., Arnberg, L., Rorvik, S. and Prestmo, A. (2005) The influence of oxide inclusions on the fluidity of Al—7 wt.%Si alloy, *MAT SCI ENG A — STRUCT*, 413—414, 272—276.
 - 14.Dowden, J. (ed.) (2009) *The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology*. Dordrecht Springer.
 - 15.Duley, W. W. (1999) *LASER WELDING*, New York. John Wiley and Sons.
 - 16.El-Batahgy, A. and Kutsuna, M. (2009) Laser beam welding of AA5052, AA5083, and AA6061 aluminum alloys, *ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 2009. 974182.
 - 17.Esposito, C., Duarelio, G. and Cingolani, A. (1982) On the conduction welding process of steels with CO₂ lasers, *OPT LASER ENG*, 3, 139—151.
 - 18.Grevey, D., Sallamand, P., Cicala, E. and Ignat, S. (2005) Gas protection optimization during Nd:YAG laser welding. *OPT LASER TECHNOL*, 37,647-651.
 - 19.Haboudou, A., Peyre, P., Vannes, A. B. and Peix, G. (2003) Reduction of porosity content generated during Nd:YAG laser welding of A356 and AA5083 aluminum alloys. *MAT SCI ENG A — STRUCT*, 363,40—52.

20. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008.
21. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: ИПК Изд-во ст., 2001
22. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – М.: ИПК Изд-во ст., 2002
23. ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний – М.: Изд-во ст., 1988
24. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001
25. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности – М.: ИПК Изд-во ст., 2003
26. Безопасность производственных процессов: справочник. С.В. Белов, В.Н. Бринза и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с
27. Белов СВ. Охрана окружающей среды. - М.: Высшая школа, 1983. - 264 с.
28. Охрана труда в машиностроении // Под ред. Е.Я. Юдина.- М.: Машиностроение, 1983.-432 с.

Приложение А

Технологический процесс сборки и сварки стыкового соединения пластин