

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

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения. УДК <u>669.15-194.56:621.791.1</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Малюк Антон Павлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Главный научный сотрудник ИФПМ СО РАН	Тарасов С.Ю.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рагозин Д.В.	к.и.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения

Код	Результат обучения
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять глубокие естественно научные, математические и инженерные знания при разработке наукоемких технологий изготовления и обработки новых материалов и изделий из них
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства, с подготовкой и анализом технической документации
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, расчеты на прочность в области современных технологий обработки материалов, производства узлов, деталей и конструкций в машиностроении
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное производство, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

ПРИКАЗ

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность): Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
4AM71	Малюк Антону Павловичу

Тема работы:

Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.05.2019, №4300/с

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 технологический процесс гибридной лазерно-дуговой сварки стали 12X18H10T. Целью данной работы исследование структурных и механических свойств неразъемных соединений.
--	--

<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. Провести обзор литературных источников по теме диссертационной работы. 2. Исследовать макро– и микроструктуру сварных соединений. 3. Исследовать механические свойства неразъемных соединений. 4. Анализ результатов полученных при исследовании. 5. Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация, выполненная в MS PowerPoint</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рагозин Д.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Исаева Е.С.</p>
<p>Раздел выполненный на иностранном языке</p>	<p>Рыбушкина С.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Литературный обзор</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Главный научный сотрудник ИФПМ СО РАН</p>	<p>Тарасов С.Ю.</p>	<p>д.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4AM71</p>	<p>Малюк А.П.</p>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с., 31 рис., 18 табл., 39 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: сварка, сварной шов, гибридная лазерно-дуговая сварка, сталь 12Х18Н10Т, структура и механические свойства сварного шва.

Объектом исследования являются сварные соединения из стали 12Х18Н10Т полученные методом гибридной лазерно-дуговой сварки.

В данной научной работе проводились исследования структуры и механических свойств полученного сварного соединения. Для исследования макро- и микроструктуры проведены снимки с помощью металлографического микроскопа (Альтами МЕТ- 1С, Мет). Для исследования механических свойств, проводили испытание на растяжение (УТС 110М-100), испытание на статический изгиб, испытание ударной вязкости (копер маятниковый 2130 КМ 0,3) и измерение микротвердости (микротвердомер Duramin 5).

В результате исследований установлено, что

- Микроструктура образцов в зоне сплавления дендритная. В зонах термического влияния наблюдаются двойниковые границы.

- Образцы показывают достаточно высокие значения ударной вязкости для толщин 2,5 и 5,0 мм, при испытаниях на растяжение и изгиб демонстрируют высокие механические свойства.

- Показатели микротвердости образцов на уровне основного металла и околошовной зоны или на 15% выше микротвердости основного металла.

Проведенный анализ полученных результатов подтверждает что синергетический эффект гибридной лазерной дуговой сварки влияет на структурные и механические свойства материала. Полученные неразъемные соединения при оптимальных параметрах отвечают требованиям механических свойств отраслей, в которых используется данный материал как неразъемное соединение.

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ,
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

ЛГС	Лазерная гибридная сварка
ГОСТ Р ИСО 4136-2009	Испытания, разрушающие сварных соединений металлических материалов. Испытание на растяжение образцов, вырезанных поперек шва
ИСО 6892-1:2009	Материалы металлические. Испытания на растяжение
ГОСТ 6456-82	Шкурка шлифовальная бумажная. Технические условия
ГОСТ 25593	Пасты алмазные. Технические условия
ГОСТ 6996-66	Сварные соединения. Методы определения механических свойств

Оглавление

Введение.....	8
1. Литературный обзор	9
1.1. Общие сведения гибридной лазерной сварки	9
1.2. Область применения	14
1.3. Преимущества и недостатки гибридной лазерно-дуговой сварки	16
1.4. Используемые лазерные лучи при гибридной лазерно-дуговой сварке.	17
1.5. Основные параметры гибридной лазерно-дуговой сварки.....	18
2. Материал и методика исследований	21
2.1. Исследуемый материал	21
2.2. Получение образцов.....	22
2.3. Исследования структурных характеристик сварных соединений.....	25
2.4. Исследования механических характеристик сварных соединений	27
3. Результаты проведенных исследований	33
3.1. Результаты проведения макро- и микроскопического анализа.....	33
3.2. Результаты исследования механических характеристик	37
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...47	
5. Социальная ответственность	64
Заключение	82
Список публикаций студента.....	84
Список используемых источников.....	85
Приложение А	89

Введение

Развитие промышленности требует разработки и применения новых методов сварки, которые обладали бы низким энергопотреблением, высокой эффективностью и обеспечивали бы высокое качество изделий и конструкций [1]. Перспективным промышленным методом получения неразъемных соединений большой толщины является гибридная – лазерная дуговая сварка. В данной работе для исследования выбраны неразъемные соединения из аустенитной нержавеющей стали. Данная сталь является важным термостойким материалом, используемым в нефтяной промышленности, топливно-энергетическом секторе, химической промышленности, машиностроении. Сварка аустенитной стали является неотъемлемым процессом при производстве деталей и механизмов. При гибридной лазерно-дуговой сварке, лазерный луч и дуга воздействуют вместе на обрабатываемую зону, что приводит к повышению производительности процесса сварки, так как увеличивается скорость сварки [2]. Синергетический эффект гибридной сварки улучшает структуру металла сварного шва аустенитной стали и связанной с ней сопротивляемости горячему растрескиванию, а так же для коррозионной стойкости и механико-технологических свойств, что делает актуальным исследование структуры и свойств данных соединений. [3].

Цель работы

Целью данной научной работы является исследование структуры и механических свойств сварного соединения аустенитной стали 12X18H10T полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения.

1. Литературный обзор.

1.1 Общие сведения гибридной лазерной сварки.

Гибридная сварка – это процесс сварки плавлением, который совмещает в себе принципы лазерной и дуговой сварки.

В процессе гибридной лазерно-дуговой сварки, в качестве основного источника тепла используется лазерный луч. Лазерный луч вместе с электрической дугой взаимодействуют в одной сварочной ванне [5]. Синергетическое воздействие лазерного луча и электрической дуги в одной сварочной ванне приводит к увеличению скорости сварки и глубины проплавления, а также стабильности процесса [4]. Схема процесса гибридной лазерной сварки приведена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1. – Схема гибридной лазерной сварки.

Развитие лазерно-дуговых процессов началось с конца 1970 – ых годов в колледже в Лондоне под руководством английским ученым У. Стином (W.M.Steen). В эти годы группа совершила первые попытки по объединению лазерного излучения и электрической дуги [6, 22]. В нашей стране первые эксперименты по лазерно-дуговой сварке были проведены в ИЭС им. Е.О. Патона примерно в 1979 – 1980 гг. В 1980-е годы появились надежные и относительно недорогие лазерные источники высокой мощности, что

позволило начать использовать гибридную сварку. В 1990-е наблюдается тенденция промышленной реализации гибридной сварки [7]. Первая промышленная система гибридной лазерной дуговой сварки была введена в 2000 году Fraunhofer ILT (ФРГ) в промышленности по производству масляных резервуаров [8].

Лазерная сварка получила свою популярность благодаря своей способности производить узкую и глубокую сварочную ванну, за счет того что лазерный луч может сфокусироваться на малую площадь. Точная фокусировка лазерного луча позволяет производить сварку на более высоких скоростях, и тем самым снижает подвод тепла и вероятность теплового искажения. Однако лазерные сварочные системы стоят дорого, и электрическая эффективность очень низкая для многих лазеров. Так же используя лазерную сварку нужно более трудоемко подготавливать кромки свариваемых изделий. Лазерная сварка очень трудна для материалов с высокой отражательной способностью. В тоже время как дуговой процесс имеет высокую электрическую эффективность, можно сваривать материалы с высокой отражательной способностью, и установки дуговой сварки значительно дешевле, чем системы лазерной сварки эквивалентной мощности. При всем при этом низкая плотность энергии замедляет процесс, что приводит к тепловому искажению свариваемой детали. Когда лазерная и дуговая сварка происходит в общей сварочной ванне, процесс гибридизации компенсирует их недостатки и дополняет их преимущества.

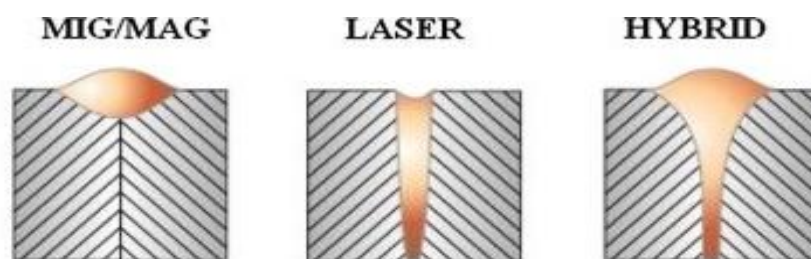


Рисунок 1.2. – Схемы формирования сварных швов при дуговой сварке, лазерной сварке и гибридной лазерно-дуговой сварке [5].

Процесс лазерно-дуговой сварки металлов может быть реализован по двум схемам – в первой схеме луч лазера и дуга действуют с разных сторон (рисунок 1.3,а), во второй схеме воздействие дуги и луча осуществляется с одной стороны, по отношению к направлению сварки и нормали к поверхности металла (рисунок 1.3,б). При совместном действии дуги и лазерного луча с одной стороны детали основанием дуги служит образованная лазерным лучом приповерхностная плазма, что способствует повышению скорости сварки, так как дуга, подплавляя поверхностный слой металла, способствует повышению коэффициента поглощения лазерного излучения. Выбор той или иной схемы лазерно-дугового процесса определяется, прежде всего, конструктивными особенностями сварного узла [12].

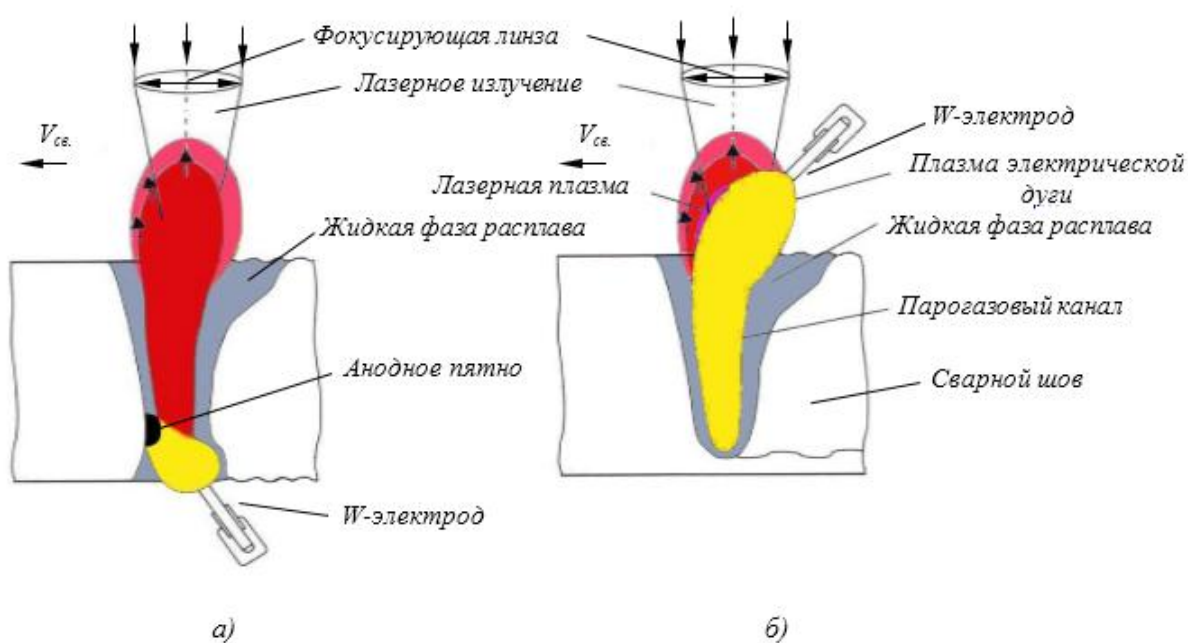


Рисунок 1.3. – Геометрические схемы реализации процесса лазерно-дуговой сварки [12].

Процесс гибридной лазерной дуговой сварки происходит на 50–100% быстрее, чем при автогенной лазерной сварке. Замечено, что небольшой зазор в швах выгоден для гибридной сварки, и максимальная скорость сварки достигается для зазора 0,6–1 мм. Стальные пластины толщиной до 25 мм успешно свариваются за один проход с использованием гибридной лазерной

дуговой сварки со скоростью 1 м/мин. Плиты с большей толщиной также можно сваривать, используя несколько сварочных проходов. Применение гибридной лазерной дуговой сварки может снизить стоимость до 50% и повысить производительность до 50%, а также минимизировать усилия, необходимые для подготовки кромки и контроля ширины шва. Высокая скорость сварки, лучшее качество шва, требование меньшего количества проходов сварки из-за глубокого проникновения также делают этот процесс более экономичным, чем автогенная лазерная сварка. Для гибридной лазерно-дуговой сварки получаются высококачественные сварные швы с совершенно приемлемыми механическими свойствами и улучшенными усталостными свойствами.

Использование процесса гибридной лазерно-дуговой сварки приводит к значительному уменьшению пор, трещин и других дефектов в сварных швах. Сварной шов, сформированный с использованием лазерно-дуговой гибридной технологии, имеет лучшую пластичность, чем сваренный с помощью лазерной сварки. Растущее число промышленных приложений доказало потенциал этого процесса для коммерческого использования.

В настоящее время в продаже имеется ряд систем гибридной лазерной дуговой сварки. Промышленное применение гибридной дуговой сварки возросло в этом столетии не только благодаря разработке серийно выпускаемых интегрированных гибридных сварочных головок (рисунок 1.4) [23], но и благодаря доступности более дешевой, надежной и большей мощности лазерные системы с усовершенствованием контрольно-измерительной аппаратуры, автоматизации и управления.



Рисунок 1.4. – Гибридная лазерная дуговая сварочная головка, разработанная компанией Fronius [5]

Гибридная лазерная сварка с плавящимся электродом

В гибридном лазерном процессе с плавящимся электродом в качестве первичного источника тепла используется CO₂-лазер, Nd:YAG-лазер или волоконный лазер, а электрическая дуга, широко известная как сварка MIG (metal inert gas), используется в качестве вторичного источника тепла. В этом процессе возникает дуга между расходуемым металлическим электродом и заготовкой. Электрод непрерывно питается от катушки. Лазер генерирует замочную скважину в сварочной ванне, которая обеспечивает сварку с глубоким проникновением, в то время как расплавленный присадочный материал, полученный во время дуговой сварки, помогает заполнить корневой зазор, позволяя сваривать детали с более высокими зазорами. Наблюдается, что стабильность дуги улучшается, когда она объединяется с лазерным лучом.

Гибридная лазерная сварка с неплавящимся электродом

В лазерной гибридной сварке неплавящимся электродом электрическая дуга, создаваемая во время сварки, используется в качестве вторичного источника тепла. Дуга устанавливается между неплавящимся вольфрамовым электродом и материалом заготовки.

Использование дополнительных материалов для заполнения выбирается в соответствии с технологическим процессом. В качестве дополнительного наполнителя используется присадочная проволока.

Скорость осаждения металла при лазерной гибридной сварке с неплавящимся электродом намного меньше, чем при лазерной гибридной сварке с плавящимся электродом, поскольку для плавления присадочной проволоки при лазерной гибридной сварке не плавящимся электродом используется только небольшая доля тепла дуги. Защитный газ используется для защиты сварочной ванны, а также для защиты электрода от атмосферного загрязнения или образования оксидов. При использовании дуги вольфрамового электрода с лазерным лучом в одной сварочной ванне, поглощение лазерной энергии улучшается благодаря предварительному нагреву основного материала с использованием ведущей дуги [16]. Процесс лазерной гибридной сварки с неплавящимся электродом обычно используется для сварки тонких материалов.

1.2 Область применения.

Концепция процесса гибридной лазерной сварки на протяжении многих лет получила широкое применение в промышленности. Благодаря своим преимуществам этот процесс является привлекательной альтернативой для различных отраслей промышленности. Данный процесс вызывает интерес среди отраслей промышленности, использующих сварку в большом объеме. Это приводит к установке систем лазерно-дуговой сварки в автомобильной, судостроительной и трубной промышленности. Так же гибридная лазерная сварка нашла свое применение в аэрокосмической промышленности, производство контейнеров, тяжелое машиностроение и энергетику. Крупные автомобильные компании как Volkswagen и Audi, внедрили гибридную лазерную сварку на производственных линиях. Каркас крыши и различные ее части автомобиля Audi A8 свариваются с помощью гибридной лазерной дуговой сварки. Техника гибридной сварки также используется компанией

Daimler для производства осей. В Volkswagen Phaeton производится 48 гибридных сварных швов для производства высококачественных угловых и стыковых соединений [5]. Так же используется при производстве современных высокоскоростных поездов, таких как Lufthansa Airport Express (в конструкции 12 вагонов заложено 1 км сварных швов) [6].

Гибридная лазерно-дуговая сварка используется в энергетике для сварки плотных стеновых панелей и ребристых труб котлов. Гибридный процесс сварки представляет большой интерес для судостроительной промышленности во всем мире. Данный процесс активно используется и распространяется на европейских и азиатских верфях. Гибридная сварка дает значительную экономию времени и средств, заменяя собой многопроходную сварку за счет реализации режима глубокого проплавления. Данной технологией пользуются MEYER в Германии, KVAERNER в Финляндии и FINCANTIERI в Италии [7].



Рисунок 1.5. – Лазерно-дуговые гибридные сварные панели и элементы жесткости, используемые для изготовления судов Meyer-Werft GmbH [5].

Гибридная лазерно-дуговая сварка используется в энергетике для сварки плотных стеновых панелей и ребристых труб котлов. Техника сварки гибридным лазером MAG была принята компанией Energoinstal SA для изготовления стеновых панелей и ребристых труб котлов из-за стабильности процесса, более высокой устойчивости к зазорам в стыках, глубокого

проникновения и более высокой эффективности гибридной технологии сварки [21].

1.3 Преимущества и недостатки гибридной лазерно-дуговой сварки.

Гибридная лазерно-дуговая сварка обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами сварки.

Преимущества гибридной лазерно-дуговой сварки:

- меньше затрат на подготовку кромок свариваемых материалов [9];
- более высокая скорость сварки и глубина проплавления [24], [25];
- повышенная производительность;
- требование меньшего количества сварочных проходов[26];
- улучшение стабильности сварного шва и расплава боковой стенки;
- использование вторичного источника тепла в качестве электрической дуги компенсирует потребность в мощном лазерном источнике, что резко снижает стоимость установки;

- меньшее искажение сварного шва из-за меньшего тепловыделения по сравнению с дуговой сваркой [10];

- гибридная лазерная дуговая сварка может сваривать самые разные металлы и сплавы, в том числе материалы с высокой отражательной способностью и химически активные металлы;

- улучшение металлургических свойств, при использовании присадочного материала и уменьшение пористости благодаря ускоренному выделению газа из сварочной ванны большого размера, особенно в швах с частичным проплавлением;

К недостаткам гибридной лазерно–дуговой сварке можно отнести следующие положения [5]:

- высокие затраты на оборудование по сравнению с дуговой сваркой;
- требование точного позиционирования и правильной сборки деталей;
- контроль большого количества параметров процесса;
- требование дополнительных мер безопасности;

1.4 Используемые лазерные лучи при гибридной лазерно-дуговой сварке.

Лазеры используются в качестве основного источника тепла в гибридной лазерной дуговой сварке. CO₂ лазер - самый мощный лазер с непрерывной волной. Выходная мощность CO₂-лазера с непрерывной волной может варьироваться от нескольких ватт до 50 киловатт или более, а в импульсном режиме пиковая мощность может достигать миллионов ватт. Максимальная доступная мощность серийного Nd:YAG-лазера с непрерывным излучением находится в диапазоне нескольких киловатт. Пиковая мощность Nd: YAG-лазера может достигать уровня гигавайт, с длительностью импульса в диапазоне наносекунд.

Основное различие между CO₂ лазером и Nd: YAG-лазером заключается в их рабочих длинах волн. Nd: YAG-лазер имеет более короткую длину волны (1,064 мкм), а также имеет лучшее качество луча по сравнению с CO₂ лазером (10,6 мкм). Лазерный луч с более короткой длиной волны используется для сварки сильноотражающих металлов, таких как алюминий, нержавеющей сталь, медь, золото и т. д. Из-за более короткой длины волны Nd: YAG-лазера лазерный луч может транспортироваться от источника к рабочей станции через оптоволоконные кабели [30].

Другими потенциальными альтернативами лазеров на CO₂ и Nd: YAG для гибридной лазерной дуговой сварки являются дисковые и волоконные лазеры [28],[29]. Преимуществами волоконного и дискового лазеров по сравнению с CO₂ и Nd: YAG лазерами являются их высокая выходная мощность, высокое оптическое качество, компактные размеры, высокая пиковая мощность и низкая стоимость за 1 кВт. Применение волоконных лазеров в гибридной лазерной дуговой сварке набирает популярность в последние годы благодаря увеличению выходной мощности и высокому качеству луча.

1.5 Основные параметры гибридной лазерно-дуговой сварки.

Процесс гибридной лазерно-дуговой сварки является сложным. В процессе сварки данным способом необходимо контролировать большое количество параметров присущие не только лазерной (длина волны, мощность и качество лазерного излучения, размеры и положение сфокусированного луча) и дуговой сварке (ток и напряжение дуги, вылет электрода, длина дуги, скорость подачи проволоки) по отдельности. При гибридизации процесса возникают специфические параметры, характерные только для их совместного воздействия.

Мощность лазера

В гибридной лазерной сварке мощность лазера является основным источником тепла, который обеспечивает сварку с глубоким проплавлением.

Плотность мощности оказывает наибольшее влияние на сварку при сварке лазером. Плотность мощности – это отношение мощности лазерного излучения к площади пятна контакта. Плотность мощности увеличивается с увеличением мощности и уменьшается с увеличением площади пятна луча. Большая площадь лазерного луча создает более широкие замочные скважины с меньшим проплавлением для данной мощности лазера. Проплавление сварного шва увеличивается с увеличением мощности лазера [11].

Относительное расположение лазерного луча и дуги

Гибридная лазерная сварка может быть реализована как с ведущим положением лазерного луча, так и с ведущим положением дуги. Лазерный луч всегда направлен перпендикулярно направлению сварки, чтобы получить большую глубину проплавления сварного шва. Результаты исследования показывают, что при ведущем расположении луча сварное соединение имеет кинжальную форму проплавления, характерной для лазерной сварки, и отсутствие сквозного проплавления. В случае ведущего расположения дуги, был образован шов со сквозным проплавлением и «губкообразной» формы [6].

Расстояние между лазерным лучом и дугой

Расстояние между осью лазерного излучения и концом проволоки является одним из наиболее важных параметров оптимизации гибридной лазерно-дуговой сварки [7]. Дуга находится в непосредственной близости с лазерным лучом для достижения синергетического эффекта в общей сварочной ванне. Лазерный луч и дуга обычно находятся на расстоянии до 3 мм. Наилучшие результаты получены на расстоянии от лазерного луча до дуги 1 – 2 мм. При большом расстоянии может привести к потере эффекта гибридизации, поскольку они будут действовать на разные сварочные ванны.

Скорость сварки

Лазерная гибридная сварка обладает высокой скоростью сварки, что повышает производительность процесса. Однако ширина сварного шва и глубина проникновения зависят от скорости сварки. Чтобы компенсировать это, требуется приложить больше мощности лазера и увеличить скорость подачи присадочной проволоки для поддержания постоянного объема сварочной ванны. Слишком высокая скорость сварки может привести к неправильному плавлению или недостаточному проникновению сварного шва, в то время как слишком низкая скорость сварки может создать большую сварочную ванну с глубоким проникновением до предела горения через материал и может вызвать частичное разложение [27] .

Положение фокуса лазерного луча

Положение фокуса лазерного луча влияет на проникновение сварного шва. Максимальное проникновение сварного шва, как правило, достигается, когда фокусная точка лазерного луча лежит ниже поверхности заготовки [14]. Фокус лазерного луча изменяется, когда он проникает в расплавленную ванну. Объем сварочной ванны при лазерной дуговой гибридной сварке намного больше, чем при автогенной лазерной сварке. Формирование осадения сварного шва в форме чашки при лазерной дуговой гибридной сварке увеличивает кривизну верхней поверхности ванны расплава , что меняет фокусировку взаимодействующего лазерного луча.

Угол наклона электрода

Угол наклона электрода контролируется удерживанием сварочной горелки под углом, измеренным от поверхности заготовки. Угол наклона электрода обеспечивается таким образом, что защитный газ, выходящий из сопла горелки, эффективно отклоняет вызванную лазером плазму от зоны сварки, чтобы увеличить проникновение лазера в сварной шов. Угол наклона электрода обычно составляет около 45–65 градусов [15], что уменьшает длину дуги. Лазерный луч обычно направлен перпендикулярно поверхности заготовки для лучшего проникновения. Тем не менее, лазерный луч наклоняется под углом во время сварки сильно отражающих материалов, чтобы избежать любого повреждения лазерной головки из-за отраженного луча.

Состав защитных газов

Защитные газы используют для защиты сварочной ванны от окружающей атмосферы. Состав защитных газов влияет на характеристики дуги, формирования сварного шва. Инертные газы такие как гелий и аргон, являются преобладающими составляющими защитных газов, используемых в процессах гибридной лазерной дуговой сварки. Так же используют для защитных газов азот, углекислый газ. Защитные газы выбирают на основе материалов, источников лазера и параметров дуги [17, 18, 19].

Скорость подачи проволоки

Скорость подачи расходуемого электрода определяется исходя из требования осаждения металла на сварном шве. Более высокая скорость подачи проволоки происходит, когда нужно соединить сварной шов с большим зазором детали, что также способствует увеличению скорости сварки [20]. При более высокой скорости подачи проволоки требуется более высокий ток для увеличения скорости осаждения. Увеличение диаметра проволоки также требует более высокого тока для поддержания постоянной длины дуги.

2. Материал и методика исследований

2.1 Исследуемый материал.

12Х18Н10Т – пищевая нержавеющая сталь коррозионно-стойкая аустенитного класса. Основными преимуществами стали являются высокая ударная вязкость и пластичность. К недостатку можно отнести относительно низкую устойчивость к коррозии в средах, содержащих ионы хлора, а также серную и соляную кислоты.

Химический состав стали регламентируется ГОСТ 5632-72. Основным элементом сплава 12Х18Н10Т является железо (Fe). Кроме того, в состав хромоникелевой стали входят химические элементы в следующем процентном соотношении:

- хром (Cr) от 17 до 19%
- никель (Ni) от 9 до 11%
- титан (Ti) около 0,8%
- кремний (Si) не более 0,8%
- сера (S) менее 0,02%
- марганец (Mn) менее 2%
- медь (Cu) до 0,03%
- фосфор (P) 0,035%
- углерод (C) менее 0,12%.

Высокое содержание хрома в марке 12Х18Н10Т (от 17 до 19%) обеспечивает способность металла к пассивации и обуславливает сильные антикоррозийные характеристики стали.

Добавление никеля (от 9 до 11%) переводит сталь в аустенитный класс. Это свойство имеет исключительное значение, позволяя сочетать технологичность нержавеющей стали с расширенным комплексом эксплуатационных характеристик. Такие стали хорошо прокатываются в холодном и горячем состоянии, обладают высокой, по сравнению с

ферритными сталями, коррозионной устойчивостью в агрессивных средах, в том числе серной кислоте.

Добавление в состав сильного карбидообразующего элемента – титана – (Ti) позволяет устранить склонность стали к межкристаллитной коррозии. Вступая в реакцию с углеродом (C), он образует тугоплавкий карбид TiC, тем самым снижая вероятность образования карбидов хрома и уменьшения концентрации хрома в твердом растворе.

Кремний (Si), содержание которого в 12X18H10T не более 0,8%, повышает плотность стали и дегазирует его. Добавление данного элемента увеличивает прочность материала и предел текучести, однако немного снижает пластичность, что затрудняет холодную прокатку.

Хромоникелевая нержавеющая сталь 12X18H10T занимает лидирующие позиции на рынке современного металлопроката. Благодаря своим уникальным качественным характеристикам сталь данной марки может использоваться в различных сферах производства и промышленности. Материал получил широкое применение в:

- пищевой промышленности;
- нефтяной промышленности;
- топливно-энергетическом секторе;
- химической промышленности;
- машиностроении.

Благодаря исключительному сочетанию прочностных характеристик и свойств нержавеющей стали этой марки, она успешно применяется практически во всех отраслях промышленности. Изделия из нее характеризуются длительным сроком службы.

2.2 Получение образцов

Для исследования сварных швов гибридной лазерно-дуговой сваркой были получены образцы неразъемных соединений из листового проката

аустенитной стали 12X18Н10Т с толщинами 2,5 мм и 5,0 мм. В качестве заготовок использовались листы с размерами 200x400 мм.

Полученные образцы изготавливались при помощи иттербиевого волоконного лазера производства компании IPG с длиной волны 1,03 мкм и дуговой сварки MIG.



Рисунок 2.1 – Источник лазерного излучения

Сварка неразъемных соединений производилась следующим образом. При сварке лазерное излучение было направлено перпендикулярно к плоскости заготовок, фокус лазерного излучения находился на плоскости лицевой поверхности сварных заготовок. Плоскопараллельные заготовки фиксировались на сварочном столе механическим устройством. Для достижения полного проплавления выдерживался воздушный зазор между свариваемыми пластинами, величина которого составляла 0,8 мм. Данная величина зазора обеспечивала наибольшую эффективность сварочного процесса.

Постановка сварочной горелки производилась следующим образом. Сварочная горелка дугового источника находилась позади лазерного источника на расстоянии $DL=8,0$ мм, что дало возможность разделить две взаимодействующие зоны: сварочную ванну от лазерного источника и сварочную ванну от дугового источника. Сварочная горелка была отклонена на угол $\alpha=50^\circ$. Кроме того, для получения большей площади взаимодействия между ваннами расплава, образованных посредством лазерного и дугового источников, сварочная горелка была наклонена в сторону от нормального положения на 17° . Технологические режимы изготовления образцов указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Технологические режимы изготовления образцов.

№ образца	Толщина	Установленная мощность ЛИ, кВт	Скорость сварки, м/мин	Ток дуги, А.	Напряжение дуги, В.
1	2,5	3,5	2,5	145	21,2
2		3,5	2,5	148	22,3
1	5,0	4,5	2	153	21,5
2		4,5	2	147	21,3

2.3 Исследования структурных характеристик сварных соединений

2.3.1 Методика подготовки образцов

Для проведения структурного анализа производилась механическая вырезка шлифов на электроискровом станке из листовых заготовок неразъемных соединений. Дальнейшая подготовка заключалась в механическом шлифовании и полировке. После полировки образцы подвергали химическому травлению.

Вырезка образцов производилась поперечно направлению сварного шва по схеме указанной на рисунке 2.2. Толщина шлифов для гибридной лазерной сварки должна быть не менее 5 мм, ширина соответствует толщине свариваемых листов, а длина от 15 до 55 мм в зависимости от толщины листового проката. Длина была подобрана так, чтобы на шлифе присутствовали шов, околошовная зона и участки основного металла не подверженные влиянию сварки.

Для подготовки шлифа поверхность, которая будет исследована шлифуется с помощью шлифовальной бумаги разной зернистости по ГОСТ 6456, в дальнейшем производится полировка с применением алмазной пасты зернистости АСМ 1/0, АСМ 0,5/0 ВОМ (ГОСТ 25593). Подготовленные образцы хранятся в условиях, исключающих окисление и ухудшения качества.

Обработанные поверхности шлифов подвергли электрохимическому травлению. Для стали 12Х18Н10Т применяется 10% раствор щавелевой кислоты и травили методом анодного травления в течении 2 -5 минут.

По окончанию травления поверхность шлифов промыли с помощью спирта.

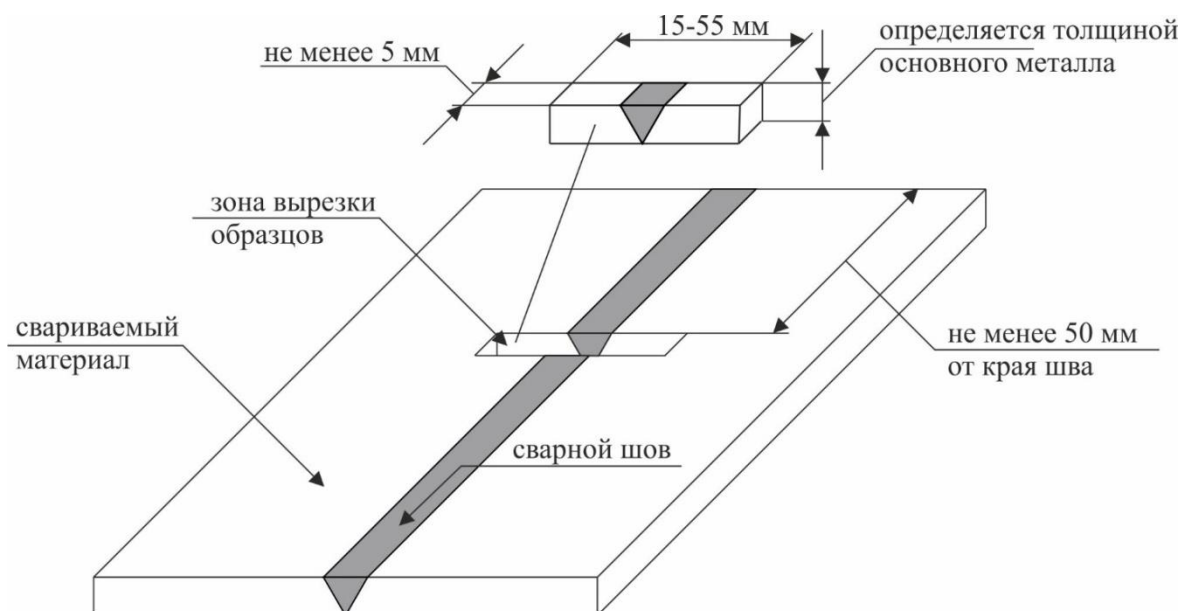


Рисунок 2.2. – Схема вырезки образцов для структурных исследований макроскопических характеристик

Макроструктурный анализ проводят с использованием оптической микроскопии на увеличениях до 50 крат.

Дефекты ГЛС соединений выявляют с помощью макроанализа. Дефекты определяются с распределением по основным группа:

- трещины;
- полости;
- твердые включения;
- несплавление и непровар;
- отклонение формы и размера;
- прочие дефекты.

Оборудование и приборы, используемые для исследования структурных характеристик сварных соединений приведены в таблице 2.2.

Для проведения исследований структурных характеристик использовали оптическую металлографию. Исследование структурных характеристик проводили на образцах, вырезанных в соответствии со схемой на рисунке. 2.2. Металлографические исследования проводили с помощью металлографического микроскопа Altami MET 1С при увеличениях 50–1500 крат. Целью металлографических исследований являлось выявление

особенностей микроструктуры, формирующейся в процессе ГЛС листового проката различной толщины.

Таблица 2.2 Оборудование и приборы, используемые для исследования структурных характеристик.

Наименование, тип и марка	Кол-во	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики
Микрометр МК 211221	1	ГОСТ 6507 - 90	Диапазон измерений от 0 до 25мм Цена деления 0,01 мм Погрешность измерения $\pm 0,004$ мм
Оптический металлографический микроскоп	1	Альтами МЕТ-1С	Видимое увеличение от x50 до x2000 Окуляры: x10 (поле 22 мм); x20 (поле 12 мм) Диапазон перемещений стола 30x30 мм.
Растровый электронный микроскоп	1	Zeiss LEO EVO 50	Увеличение до 100000 крат
Ферритометр МФ-51НЦ	1	ГОСТ 26364-90	Диапазон измерения: ± 2000 мкТл Погрешность измерения: 5% Диапазон рабочих температур, °С: 0 - +40

2.4 Исследования механических характеристик сварных соединений.

2.4.1 Исследования свойств неразъемных соединений производили по следующим механическим характеристикам, полученным в результате испытаний:

- ударная вязкость Дж/см²;
- угол изгиба, град.;
- временное сопротивление, МПа;
- микротвердость, ГПа

Образцы из листов различных толщин, полученных методом гибридной лазерной сварки, были вырезаны с соблюдением размеров, указанных на рисунках 2.3, 2.4.

Образцы вырезались из сваренных листов с сохранением необходимых отступов от начала и конца шва таким образом, чтобы обеспечивалась возможность испытаний металла шва и околошовной зоны. Для каждого вышеуказанных типов было вырезано по 5 образцов.

Вырезка образцов осуществлялась на электроискровом станке DK7750 с нанесением на образец надрез V – образной формы в соответствии с ГОСТ 6996-66.

Испытания проводили с помощью маятникового копра 2130 КМ-0,3. Угол подъема маятника устанавливают в зависимости от выбранного материала таким образом, чтобы обеспечивалась возможность измерения энергии разрушения образца. Энергия разрушения определяется по шкале прибора как разность энергии, полученной маятником до удара и сохраненной после удара.

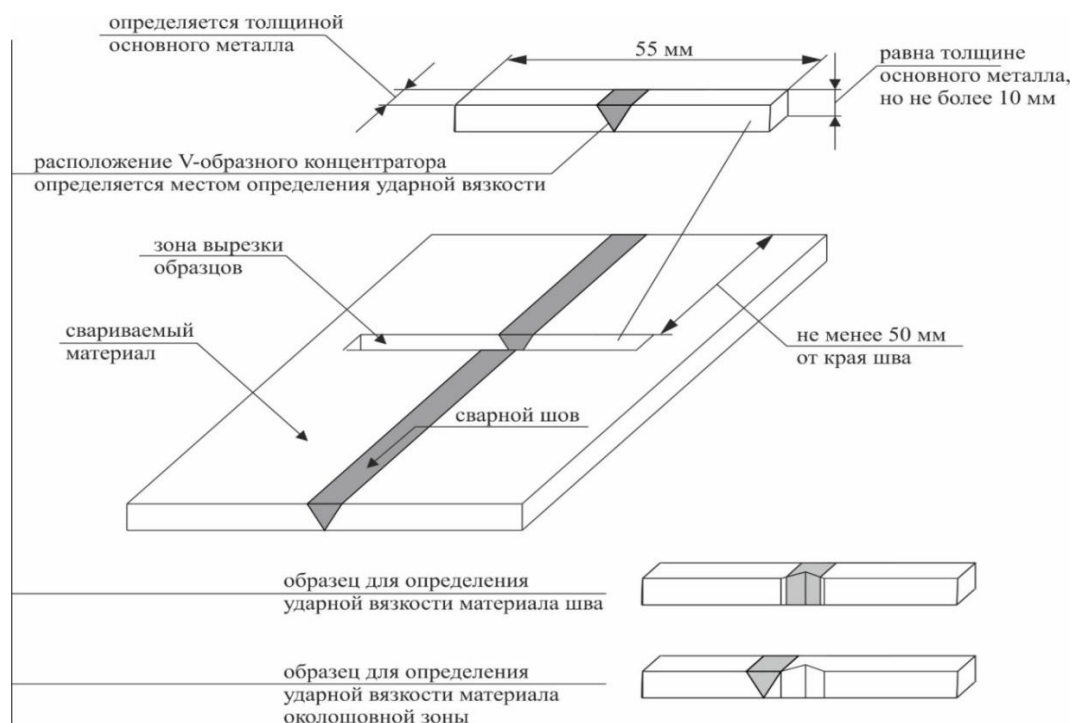


Рисунок 2.3. – схема вырезки образцов для определения ударной вязкости материала шва и околошовной зоны из образцов ГЛС соединений

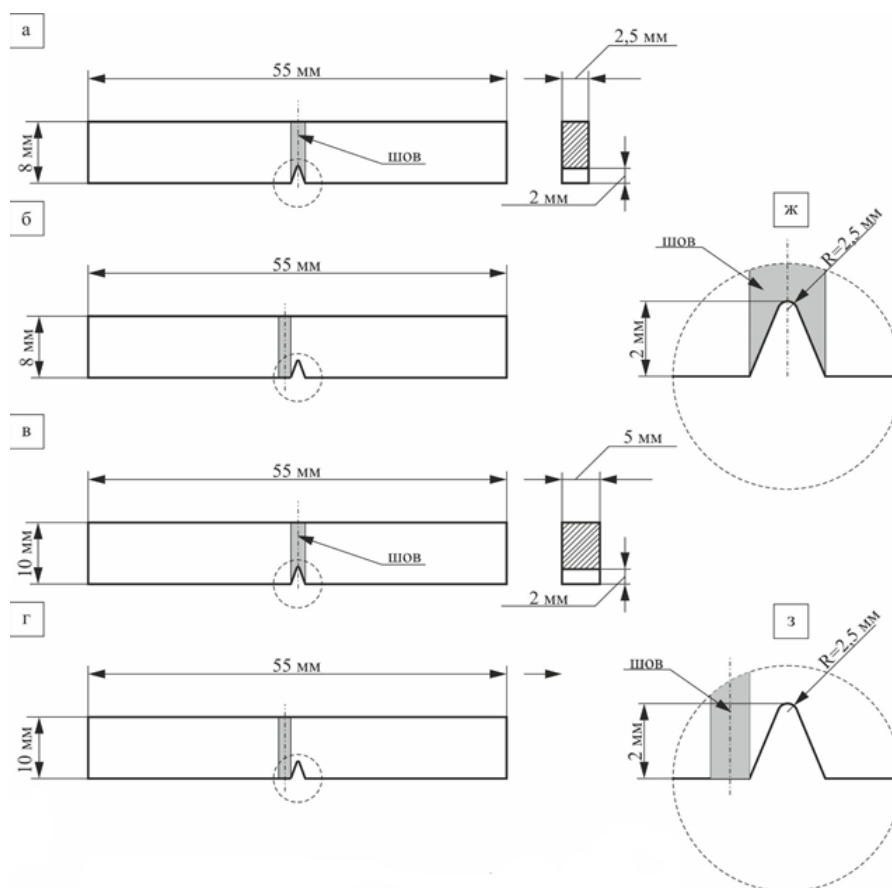


Рисунок 2.4. – Размеры образцов для определения ударной вязкости

2.4.2 Определение угла изгиба при статическом изгибе

Важным свойством, характеризующим возможность применения неразъемного соединения для изделий и конструкций, при эксплуатации которых такое соединение подвергается существенному изгибу, является его способность подвергаться изгибу без разрушения. Числовой характеристикой данного свойства является величина угла изгиба, которую может выдержать образец до образования трещин.

Исследования на статический изгиб по ГОСТ 6996-66 выполняли с помощью универсальной испытательной машины УТС 110М-100 с соответствующей оснасткой. Испытания проводили со скоростью нагружения 5 мм/мин до появления в растянутой зоне образца первой трещины, длина которой превышает 20 % ширины образца или до параллельности или соприкосновения сторон образца. Угол изгиба при испытании до образования первой трещины измеряли с помощью специального приспособления с

градуированной шкалой в ненапряженном состоянии, после снятия нагрузки, с погрешностью до $\pm 2^\circ$.

2.4.3 Испытания на растяжение

Для определения временного сопротивления при статическом растяжении в соответствии с ГОСТ 6996-66 производится вырезка образцов из заготовок сварных конструкций гибридной лазерной сварки. Вырезка образцов производится в соответствии со схемой, показанной на рисунке 2.4 с соблюдением отступов от начала и конца сварного соединения, чтобы сварной шов располагался преимущественно в центральной части рабочей зоны лопатки для испытаний.

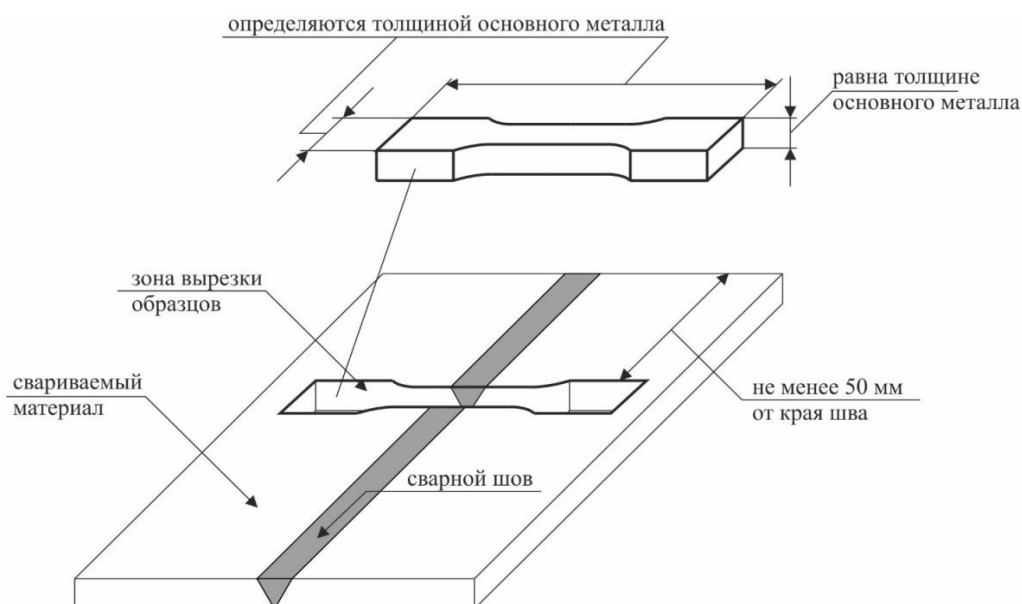


Рисунок 2.4. – Схема вырезки образцов для определения временного сопротивления при растяжении и количества циклов до разрушения из ГЛС соединений.

Размеры образцов в зависимости от толщины основного металла выбирались в соответствии с ГОСТ 6996-66. Схемы образцов с указанием размеров приведены на рисунке 2.5. Наличие усиления сварного шва с лицевой стороны, не препятствующее проведению испытаний не учитывается при испытаниях и само утолщение в зоне шва не удаляется.

Испытание на растяжение проводили на универсальной испытательной машине УТС 110М. Скорость движения захватов испытательной машины устанавливалась в 15 мм/мин. В процессе испытаний производилась запись диаграммы нагружения. Временное сопротивление при растяжении определялось по пиковой нагрузке, предшествующей разрушению образца, отнесенной к площади поперечного сечения. Определение временного сопротивления при статическом растяжении производился на серии образцов в количестве не менее пяти.

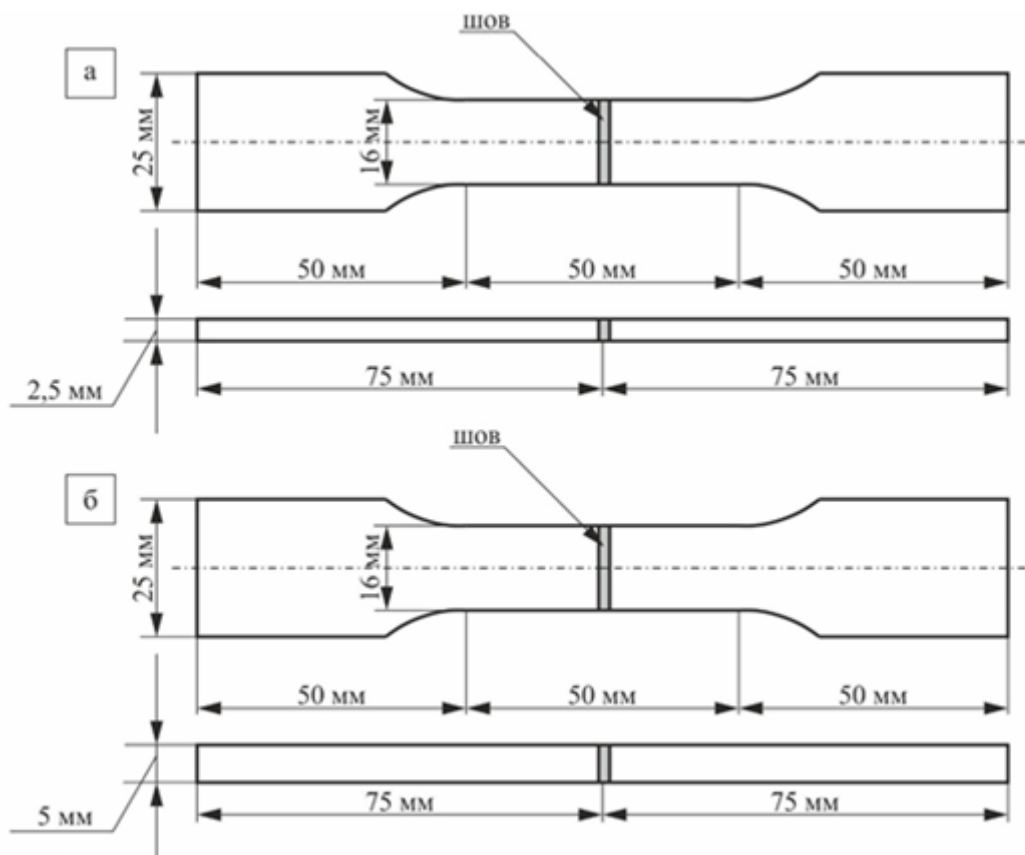


Рисунок 2.5. – Схемы изготовления образцов для испытания неразъемных соединений, полученных методом ГЛС на растяжение поперек шва

Оборудование и приборы, используемые для исследования механических свойств, приведены в таблице 2.3

Таблица 2.3. Оборудование и приборы, используемые для исследования механических свойств.

Наименование, тип и марка	Кол-во	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики
Штангенциркуль ШЦК-300-0,02	1	ГОСТ 166-89	Диапазон измерений от 0 до 300 мм Цена деления 0,01 мм Погрешность измерения $\pm 0,03$ мм
Микрометр МК 211221	1	ГОСТ 6507 - 90	Диапазон измерений от 0 до 25мм Цена деления 0,01 мм Погрешность измерения $\pm 0,004$ мм
Машина для испытания конструкционных материалов УТС 110М-100	1	ТУ 4271-003-99369822-08	Максимальная нагрузка: 30 кН в диапазоне от 0,003 до 350мм/мин 100 кН в диапазоне от 0,001 до 50мм/мин Пределы допускаемой погрешности $\pm 0,2\%$ от заданной скорости
Копер маятниковый 2130 КМ-0,3	1	ГОСТ 10708-82	Энергия копра до 300 Дж Скорость движения маятника в момент удара $5,4 \pm 0,1$ м/с

3. Результаты проведенных исследований.

3.1 Результаты проведения макро- и микроскопического анализа

На рисунке 3.1 приведены изображения макроструктуры неразъемных ГЛС соединений листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм. Представленные соединения получены по режимам указанным в таблице 2.1. Из сравнительного анализа макроскопических изображений можно сделать следующие выводы.

Предпочтительной первичной макроструктурой типа III по ГОСТ Р 57180 обладают все исследуемые неразъемные ГЛС соединения. Согласно типизации по ГОСТ Р 57180 первичная макроструктура типа III формируется кристаллитами, которые в процессе кристаллизации прорастают через ось шва, и стык двух фронтов кристаллизации в центре шва образуется переплетением вершин кристаллитов. Макроструктура такого типа характеризуется повышенным сопротивлением разрушению.

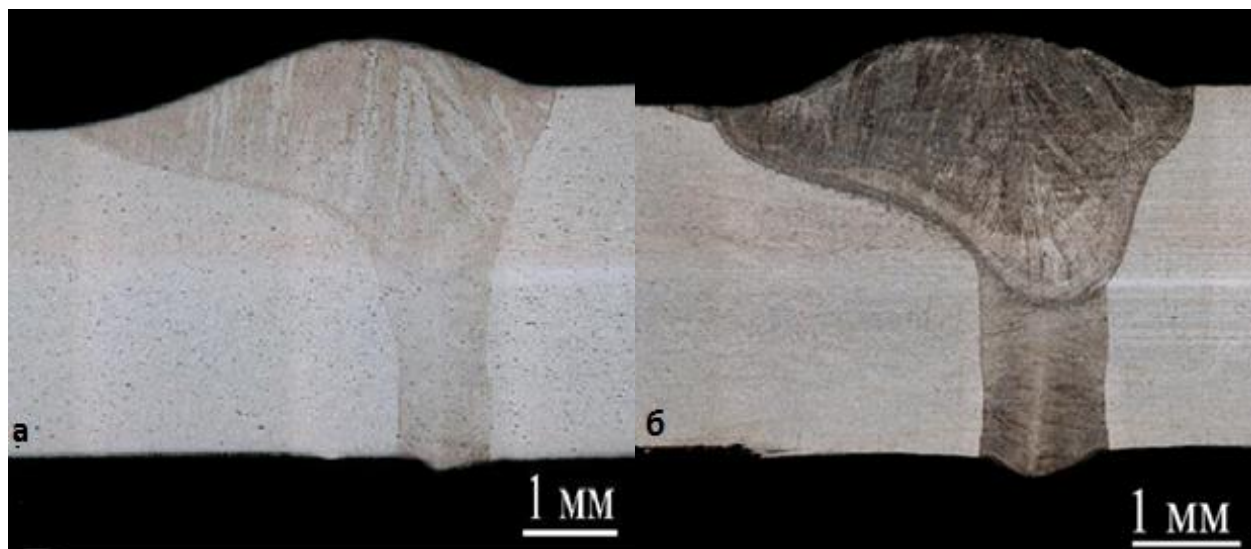


Рисунок 3.1. – Изображения макроструктуры неразъемных ГЛС соединений листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм.

Соединения получены по режимам 1(а), 2 (б)

В первом и втором режимах сварки глубина проплавления соответствует фактической толщине свариваемого материала и обеспечивает валик усиления.

В данных заготовках изготовленных при режимах указанных в таблице 2.1 дефектов в виде пор, неметаллических включений или трещин не образуется. Присутствует только такой дефект как линейное смещение листов, которое при соблюдении технологии производства будет отсутствовать.

Содержание ферритной фазы магнитным методом в образцах толщиной 2,5 мм не обнаружено.

На рисунке 3.3 показаны металлографические изображения микроструктуры зон термического влияния и зон сплавления неразъемных ГЛС соединений из стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм.

На приведенных изображениях видно, что в зонах термического влияния структура стали представлена равноосными зёрнами аустенита. В зонах термического влияния ГЛС соединений, полученных по режимам 1 и 2, примерно в 1/3 зёрен наблюдаются двойниковые границы.

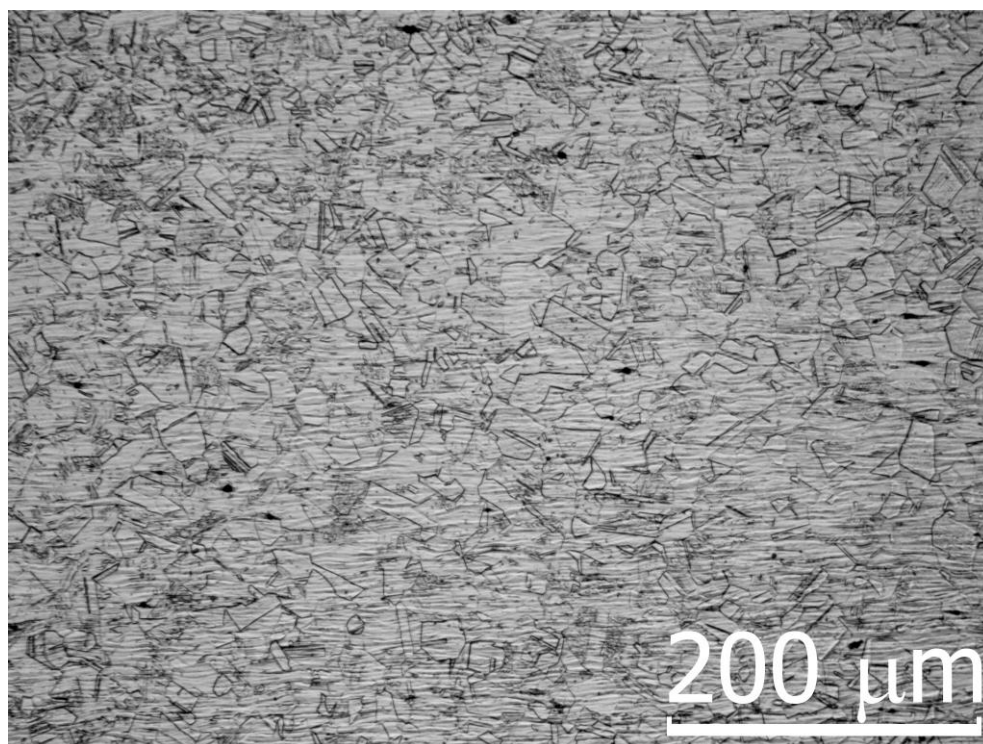


Рисунок 3.2 – Микроструктура основного металла листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т

Средний условный диаметр зёрен листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм в основном металле (рисунок 3.2) и в зонах

термического влияния (рисунок 3.3) практически одинаков и составляет 54 – 46 мкм для режимов ГЛС 1, 2, что соответствует номеру G=5.

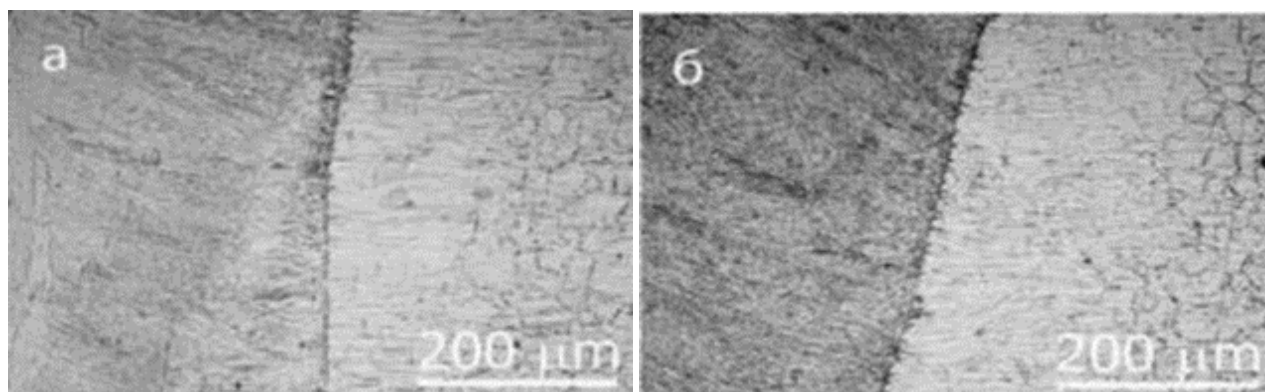


Рисунок 3.3 – Металлографические изображения микроструктуры зон термического влияния (зернистая структура с тонкими границами) и зон сплавления (дендритная структура) неразъемных ГЛС соединений листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм. Соединения получены по режимам 1 (а), 2 (б)

На рисунке 3.4 приведены составные изображения макроструктуры неразъемных ГЛС соединений стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм. Соединения получены по режимам приведенным в таблице 2.1. Анализ макроскопических изображений позволяет сделать вывод, что все режимы ГЛС обеспечивают полное проплавление свариваемого материала.

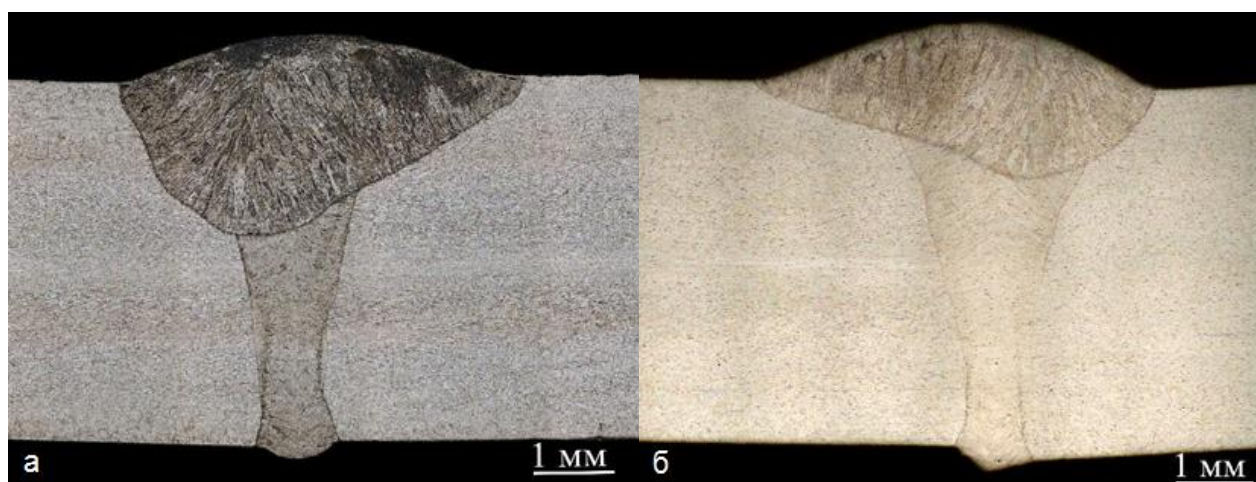


Рисунок 3.4 – Изображения макроструктуры неразъемных ГЛС соединений листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм.

Соединения получены по режимам 1(а), 2 (б)

Первичную макроструктуру всех сварных соединений можно охарактеризовать одним типом Ш по ГОСТ Р 57180. Макроструктура такого типа характеризуется повышенным сопротивлением разрушению. Для листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм характерно заметное содержание ферритной фазы. В металле швов неразъемных ГЛС соединений наблюдается повышенное, относительно основного металла содержание ферритной фазы. Измерения магнитным ферритометром подтверждают это. В сварных швах содержание ферритной фазы выявляется в пределах (0,86 – 0,95) % и выше, чем в основном металле.

На рисунке 3.5 представлены металлографические изображения микроструктуры зон термического влияния и зон сплавления неразъемных ГЛС соединений листового проката из аустенитной стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм. Во всех режимах ГЛС, в зонах термического влияния, структура представлена равноосными зёрнами аустенита.

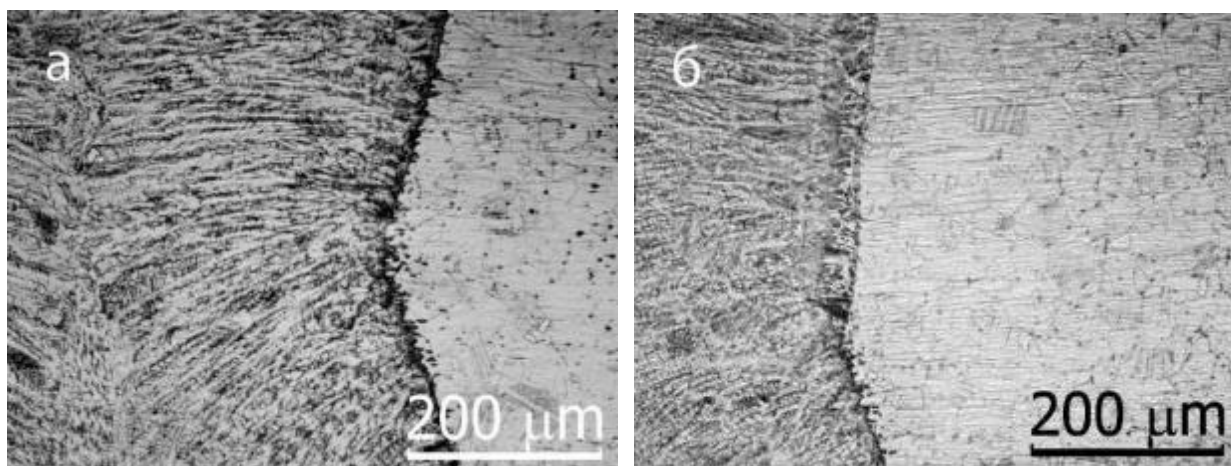


Рисунок 3.5 – Металлографические изображения микроструктуры зон термического влияния (справа на каждом из изображений) и зон сплавления (слева на каждом изображении) ГЛС соединений листового проката из стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм. Соединения получены по режимам 1(а), 2 (б)

Результаты измерений размеров зерен в зонах термического влияния и основном металле ГЛС соединений (см. рисунки 3.5 и 3.6) показали, что средний условный диаметр зерна как в основном металле, так и в зонах термического влияния ГЛС соединений составляет 38–41 мкм, что соответствует номеру G=6.

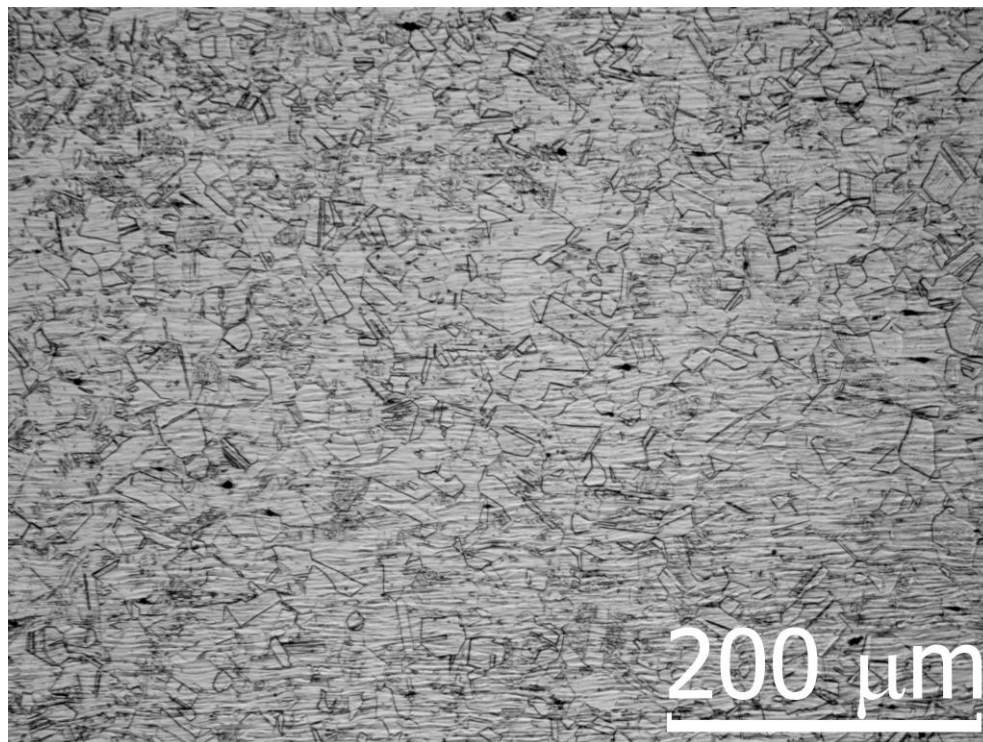


Рисунок 3.6 – Микроструктура основного металла листового проката из аустенитной стали 12X18H10T толщиной 5,0 мм

3.2 Результаты исследования механических характеристик

3.2.2 Определение временного сопротивления при статическом растяжении.

Образцы неразъемных соединений гибридной лазерной сварки толщиной 2,5 и 5,0 мм проявляют склонность к разрушению в зоне металла шва или околошовной зоны. Образцы сварных соединений демонстрируют достаточно высокие механические свойства.

Деформация образцов обеих толщин (рисунок 3.8, рисунок 3.9) характеризуется высоким значением относительного удлинения, наличием трех

стадий на диаграмме и непродолжительной стадией с уменьшающимся значением нагрузки по достижении предела прочности.

Разрушение образцов по данным фрактографии (рисунок 3.3 и 3.4) происходит вязким образом, в структуре изломов преобладает ямочное строение. Сколов, квазисколов и иных свидетельств хрупкого или квазихрупкого разрушения не выявляется [31].

При деформации образцов обеих толщин выявлена достаточно существенная стабильность результатов. Временное сопротивление образцов толщиной 2,5 мм изготовленных по параметрам указанным выше составляет для первого режима 633,2 МПа, и для второго режима 623,1 МПа.

Разрушение образцов толщиной 5,0 мм изготовленных по параметрам указанным в таблице 2.1 составляет для первого режима 603,3 МПа. Для второго 606,2 МПа.

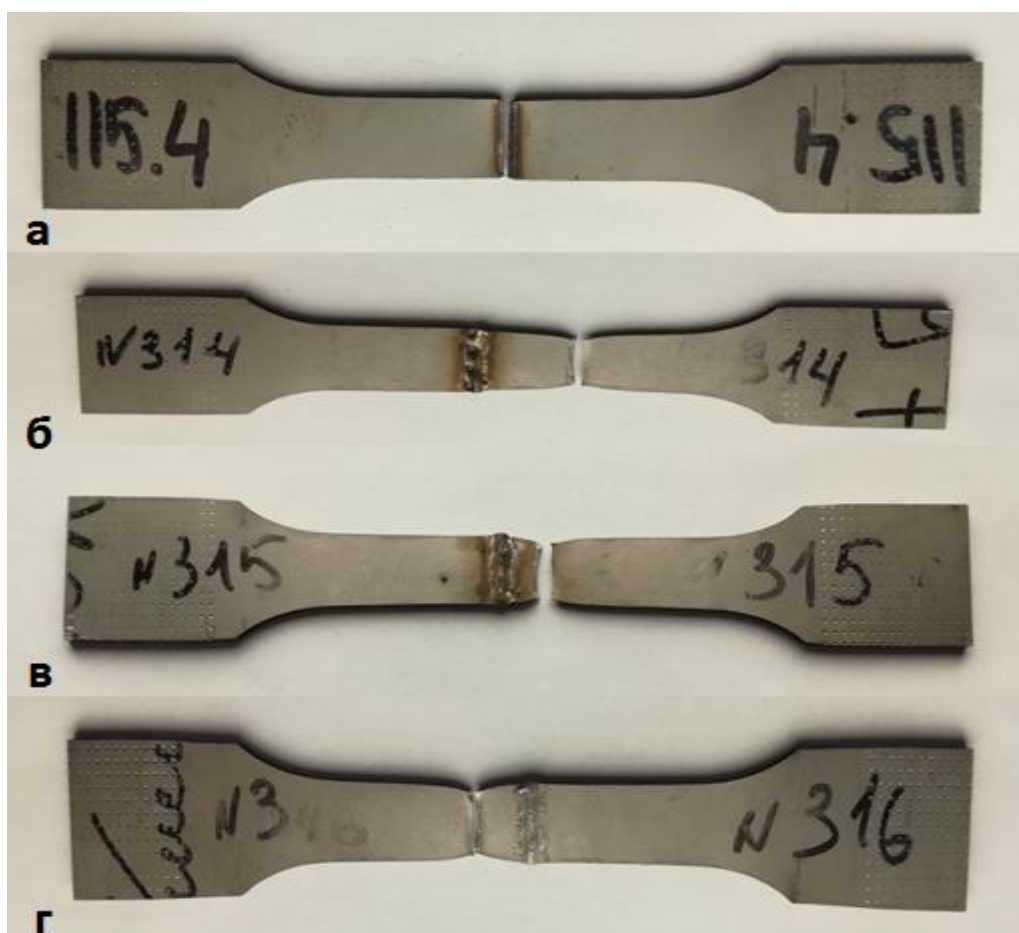


Рисунок 3.7 – Образцы после разрушения на статическое растяжение

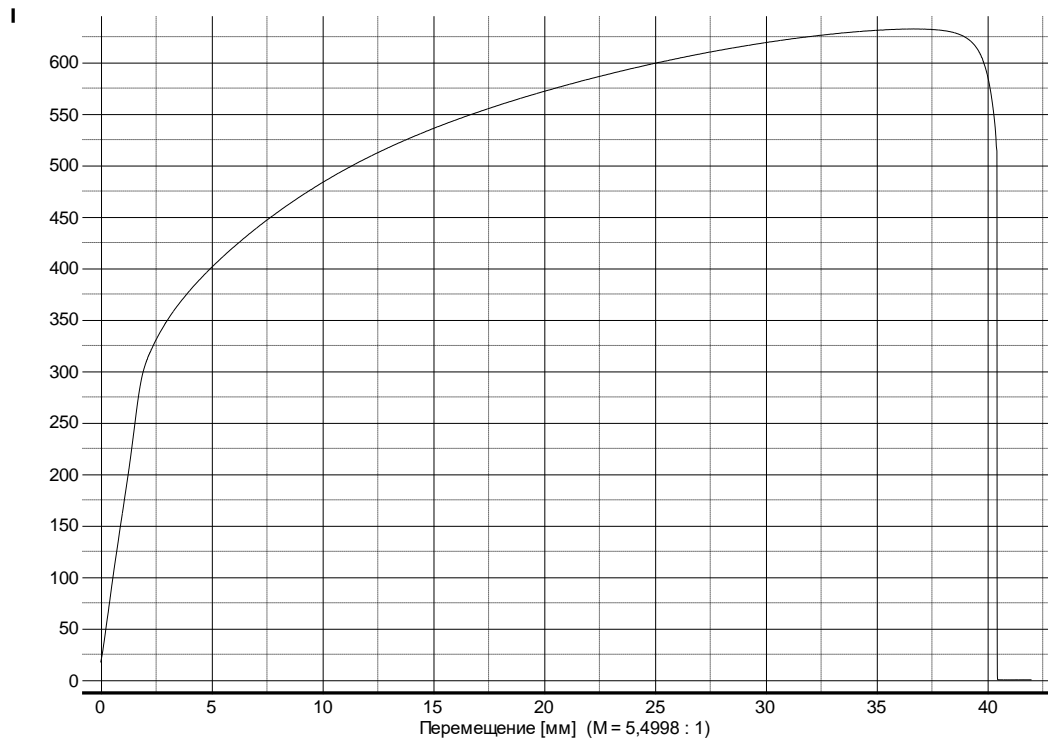


Рисунок 3.8 – Диаграмма испытания образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм, на статическое растяжение

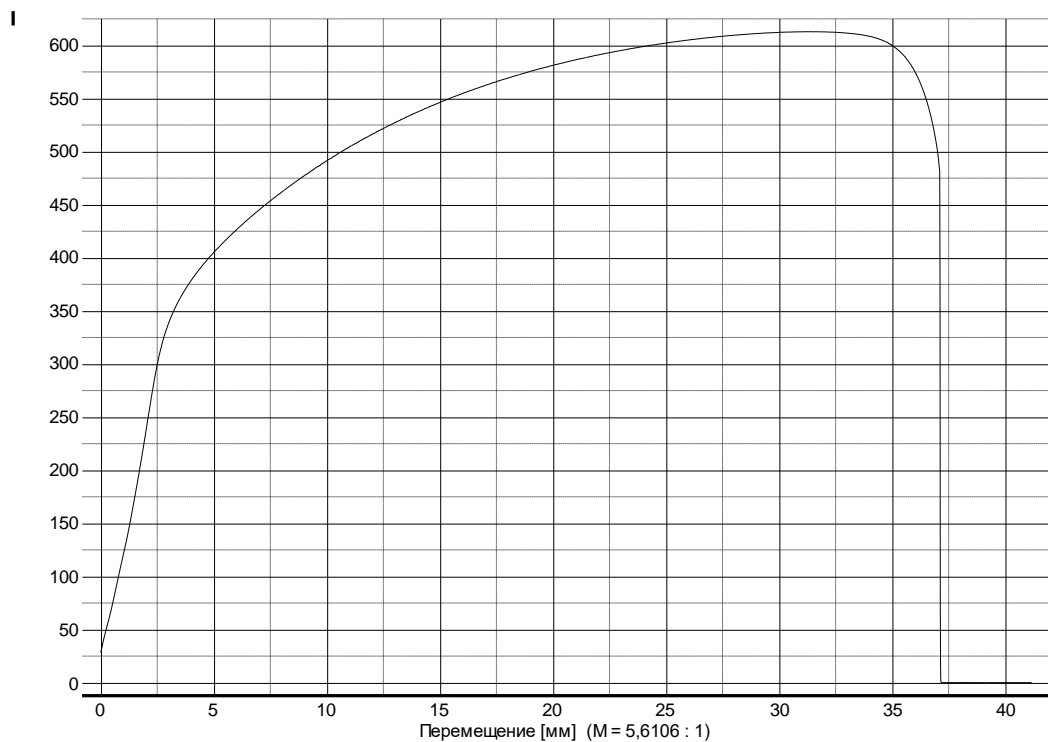


Рисунок 3.9 – Диаграмма испытания образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм, на статическое растяжение

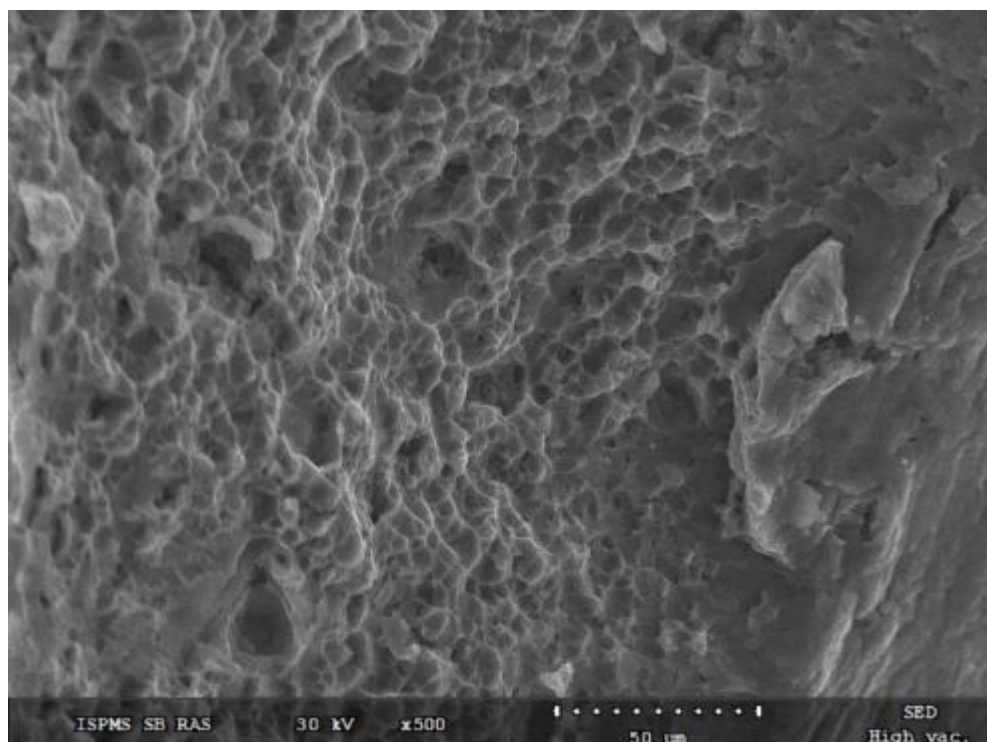


Рисунок 3.10 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм, после испытания на статическое растяжение

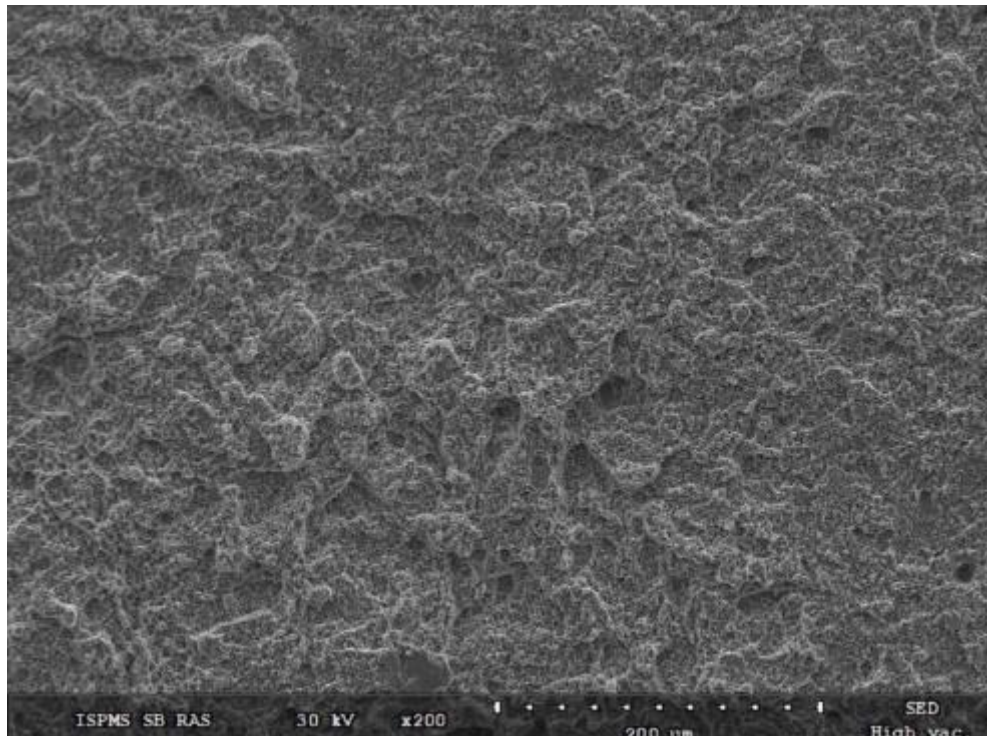


Рисунок 3.11 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм, после испытания на статическое растяжение

3.2.3 Определение ударной вязкости

Образцы стали 12Х18Н10Т демонстрируют достаточно высокие значения ударной вязкости образцов обеих толщин. Характерные особенности разрушения образцов также соответствуют типичным для данного материала (рисунки 3.5, 3.6)

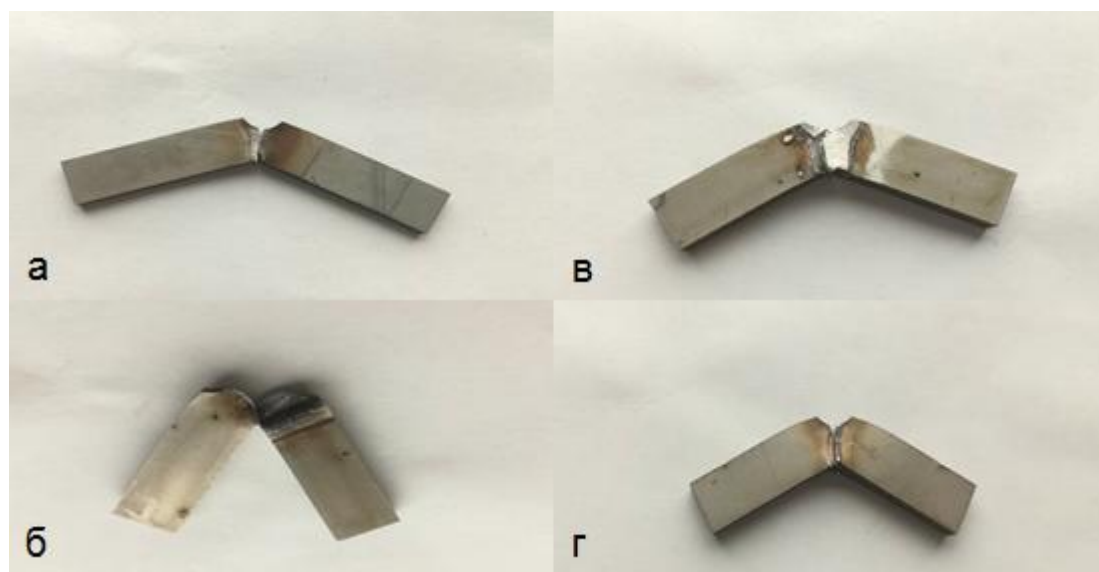


Рисунок 3.12 – Образцы после проведения испытаний на ударную вязкость. а и б образцы толщиной 2,5мм, в и г образцы толщиной 5,0 мм

Изломы образцов представлены типичным вязким ямочным строением как для материала шва, так и для околошовной зоны в образцах толщиной 2,5 и 5,0 мм.

Ударная вязкость материала шва образцов стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм составляет от 55,5 до 96,6 Дж/см². Ударная вязкость материала в околошовной зоне составляет от 54,1 до 122,2 Дж/см².

Ударная вязкость материала шва неразъемных соединений стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм составляет от 81,4 до 85,6 Дж/см². В околошовной зоне ударная вязкость составляет от 70,1 до 112,6 Дж/см².

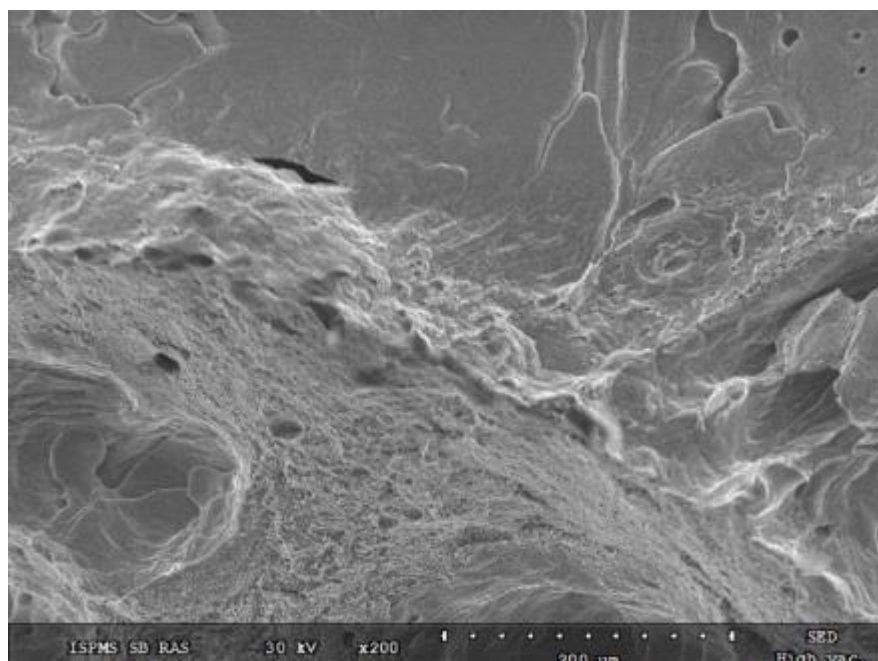


Рисунок 3.13 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм, после испытания на ударную вязкость в области сварного шва

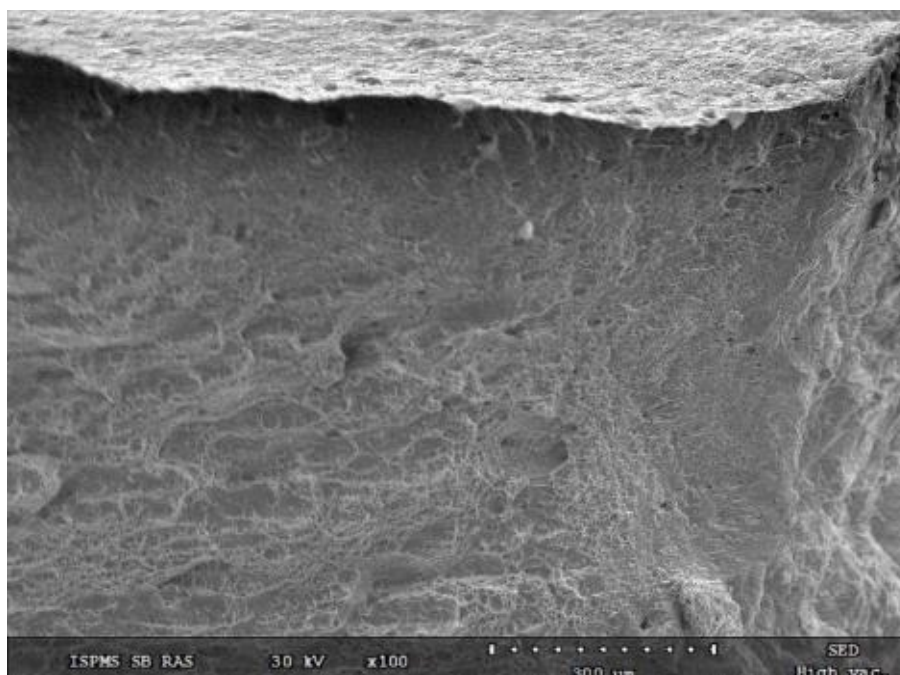


Рисунок 3.14 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм, после испытания на ударную вязкость в области околошовной зоны

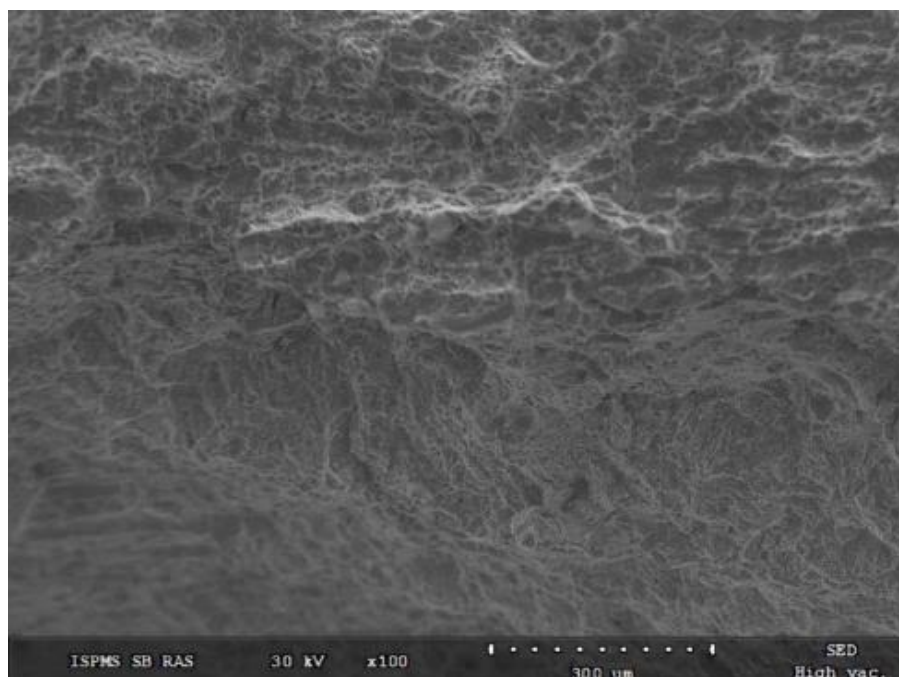


Рисунок 3.15 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм, после испытания на ударную вязкость в области сварного шва

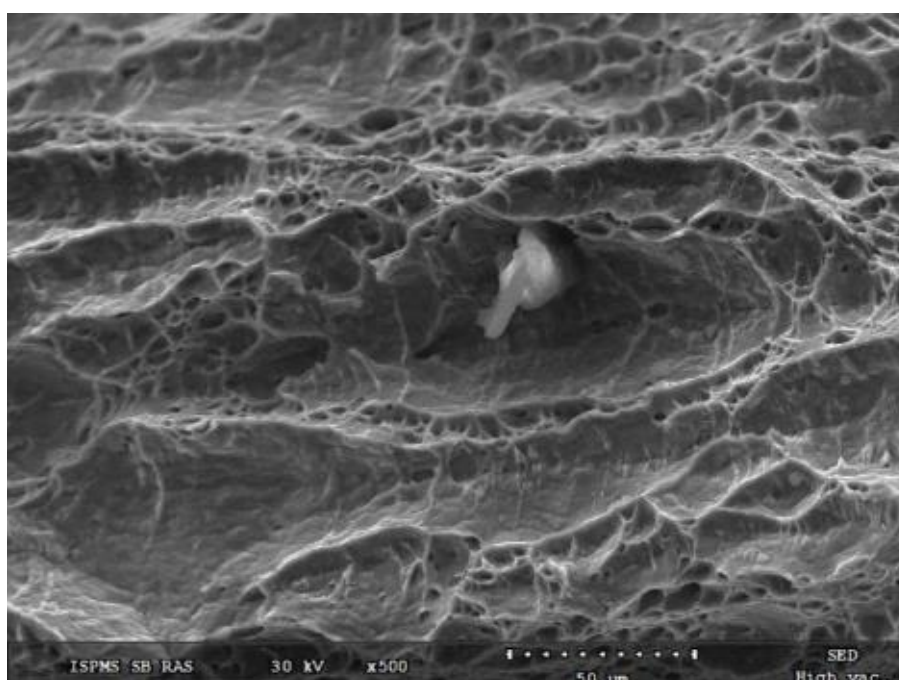


Рисунок 3.16 – Растровое электронное изображение поверхности разрушения образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм, после испытания на ударную вязкость в области околошовной зоны

3.2.4 Результаты определения угла изгиба при статическом изгибе

В испытаниях на изгиб образцы стали 12Х18Н10Т демонстрируют достаточно высокие механические свойства как при толщине 2,5 мм, так и для толщины 5,0 мм. Деформация образцов при испытаниях происходила достаточно однородно в три основные стадии (рисунки 3.17 и 3.18). Средний угол изгиба образцов без явных визуальных сварных дефектов для обеих толщин составляет 150 градусов.

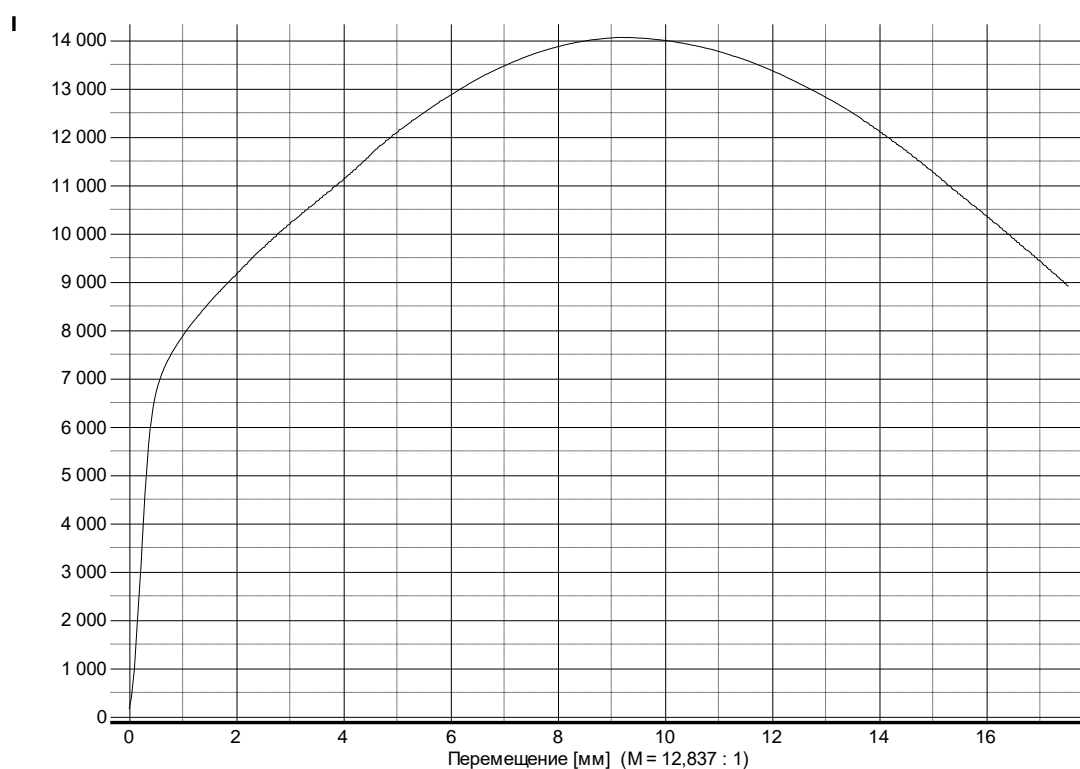


Рисунок 3.17 – Диаграмма испытания образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм, на статический изгиб

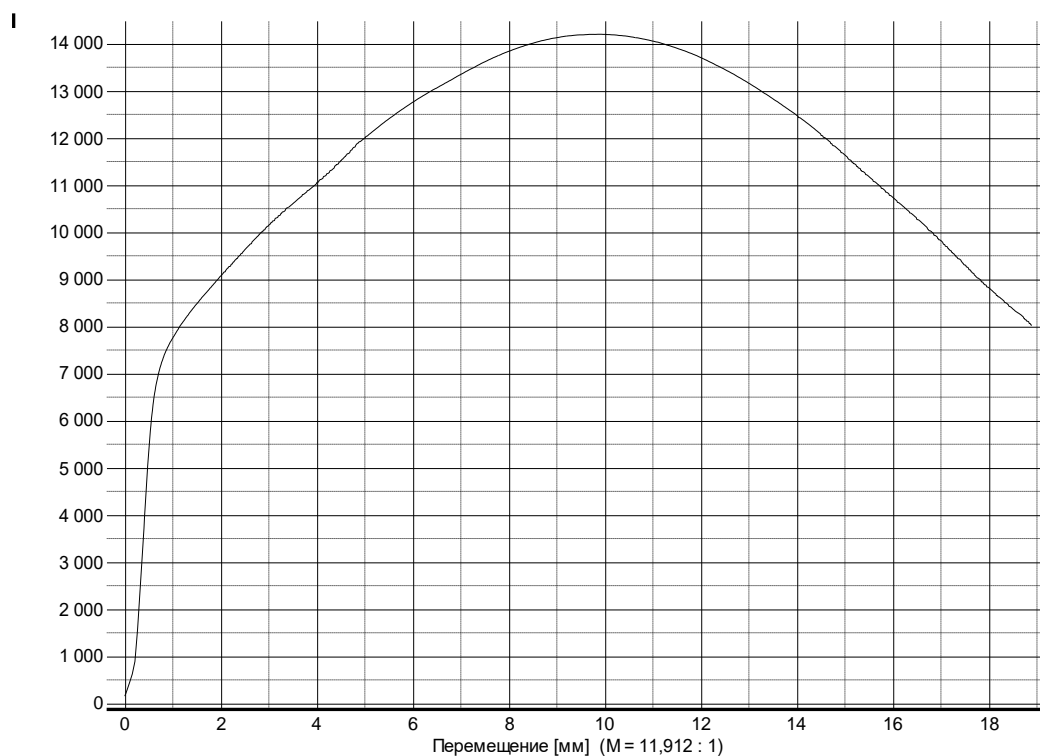


Рисунок 3.18 – Диаграмма испытания образца неразъемного соединения стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм, на статический изгиб

3.2.5 Результаты определения микротвердости

Для неразъемных соединений стали 12Х18Н10Т характерно высокое значение микротвердости как в зоне сварного шва, так и в околошовной зоне. В различных образцах микротвердость в сварном шве может либо оставаться на уровне основного металла или околошовной зоны, в других - возрасти на величину, не превышающую 15% от микротвердости основного металла (рисунок 3.19 и 3.20).

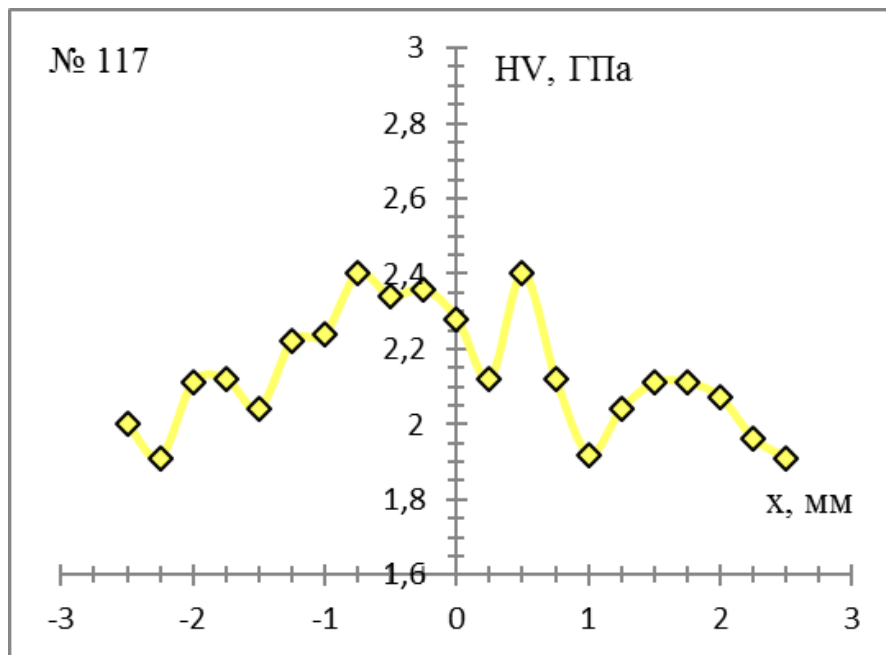


Рисунок 3.19 – Изменение микротвердости вдоль секущей проходящей через сварной шов в центральной части листового проката образца стали 12Х18Н10Т толщиной 2,5 мм

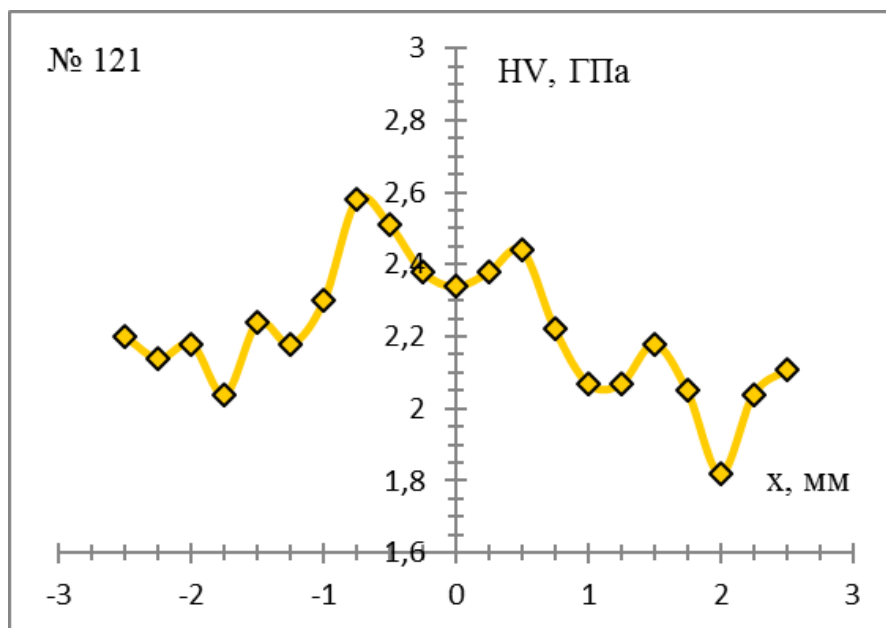


Рисунок 3.20 – Изменение микротвердости вдоль секущей проходящей через сварной шов в центральной части листового проката образца стали 12Х18Н10Т толщиной 5,0 мм

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Малюк Антон Павлович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема НИР:

Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально – технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- стоимость расходных материалов; - норматив заработной платы; - коэффициенты для расчета заработной платы; - тариф на электроэнергию;
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– Анализ конкурентных технических решений; – Выполнение SWOT – анализа проекта
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– Определение трудоемкости выполнения работ; – Разработка графика проведения научного исследования; – Расчет материальных затрат НТИ; – Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.

Перечень графического материала:

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Матрица SWOT 5. График проведения и бюджет НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рагозин Д.В.	К.И.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Малюк А.П.		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела работы является технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ (НИР). Оно проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию НИР, а также уровня научно-технической результативности НИР. Рамки данной работы НИР включают в себя исследование структуры и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Развитие промышленности требует разработки и применения новых методов сварки, которые обладали бы низким энергопотреблением, высокой эффективностью и обеспечивали бы высокое качество изделий и конструкций. Перспективным промышленным методом получения неразъемных соединений является гибридная – лазерно дуговая сварка. Благодаря своим преимуществам этот процесс является привлекательной альтернативой для различных отраслей промышленности.

Гибридная лазерно – дуговая сварка вызывает интерес среди отраслей промышленности, использующих сварку в большом объеме. Это приводит к установке систем лазерно-дуговой сварки в автомобильной, судостроительной и трубной промышленности. Так же гибридная лазерная сварка нашла свое применение в аэрокосмической промышленности, производство контейнеров, тяжелое машиностроение и энергетику.

Результаты моей научно - исследовательской работы предназначены для нефтяной промышленности; топливно-энергетическом секторе; химической промышленности;

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В данном исследовании конкурирующими методами являются все методы сварки. Однако, так как тема посвящена исследованию структуры и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения. Неразъемные соединения из аустенитной стали можно получить разными методами. Но в большинстве случаев возникают основные трудности сварки высоколегированных аустенитных сталей, обусловлены многокомпонентным их легированием и разнообразием условий эксплуатации сварных конструкций. В связи с этими проблемами, как конкурентов рассмотрим наиболее подходящие процессы сварки аустенитных сталей такие, как лазерная сварка и сварка в среде инертных газов (MIG).

В таблице 4.1 приведена оценка конкурентов, где Φ – технологический процесс гибридной лазерно дуговой сварки, k_1 – технологический процесс лазерной сварки, k_2 – технологический процесс MIG.

Таблица 4.1 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{Φ}	B_{k_1}	B_{k_2}	K_{Φ}	K_{k_1}	K_{k_2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Энергоэкономичность	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
3. Удобство в эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Глубина проплавления	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
5. Подготовка кромок	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
6. Квалификация пользователя	0,08	3	3	4	0,24	0,24	0,32
7. Высокая скорость сварки	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
2.Использование в промышленности	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
3. Цена	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24

Итого Σ	1	45	40	43	4,12	3,62	3,9
-----------------------	---	----	----	----	------	------	-----

Исходя из таблицы 4.1 видно, что такие критерии как производительность, глубина проплавления, высокая скорость сварки выше чем у конкурентов, тем самым технологический процесс гибридной лазерной сварки является более перспективным. Преимуществом конкурентов перед гибридной лазерной сварки является использование в промышленности и энергоэкономичность.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strength) и слабых (W – weakness) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – troubles) внешней среды. SWOT-анализ дает возможность принимать любые управленческие решения.

Таблица 4.2 матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1: Высокая производительность</p> <p>С2: Снижение потребления энергии</p> <p>С3: Стабильность получения качественных сварных соединений</p> <p>С4: Экономическая эффективность</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1: Высокие затраты на оборудование</p> <p>Сл2: Контроль большого количества параметров процесса</p> <p>Сл3: Требования дополнительных мер безопасности</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1: автоматизация данного процесса</p> <p>В2: Податливость математическому моделированию</p> <p>В3: Больше внедрение в производство данной технологии.</p>	<p>Используя полученные результаты исследования можно получить качественное сварное соединение с высокой скоростью сварки.</p>	<p>Результаты исследования могут послужить полезной информацией при применении данного метода в производстве.</p>

<p>Угрозы: У1: Присутствие зарубежных конкурентов на рынке У2: Появление новых инновационных технологий</p>	<p>Большой процент от общего объема рынка приходится на долю зарубежных производителей.</p>	<p>Отсутствие квалификации у специалистов может повлиять на спрос потенциальных потребителей.</p>
--	---	---

На основе SWOT-анализа можно сделать выводы, что данная научно исследовательская работа перспективна. Рассматриваемая технология позволит улучшить качество и снизить временные и финансовые затраты.

4.2 Организация и планирование работ

Таблица 4.3 Перечень работ и продолжительность их выполнения

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнители
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания.	Руководитель(100%)
Выбор направления исследования	2	Поиск и изучение материалов	Руководитель(20%) Студент(100%)
	3	Календарное планирование работ	Руководитель(100%)
Теоретическая часть	4	Поиск и изучение литературы	Руководитель(15%) Студент(100%)
	5	Составление литературного обзора	Студент(100%)
	6	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель(100%)
	7	Исправление недочетов	Студент(100%)
Экспериментальная часть	8	Подготовка и получение неразъемных соединений	Руководитель(100%), Студент(40%)
	9	Проведение испытаний на растяжение	Руководитель(30%), Студент(100%)
	10	Измерение микротвердости образцов	Руководитель(30%), Студент(100%)
	11	Исследование макро и микроструктуры образцов	Руководитель(40%), Студент(100%)
Оформление результатов исследования	12	Анализ результатов	Руководитель(80%), Студент (100%)
	13	Составление пояснительной записки	Студент(100%)
	14	Подготовка презентации и доклада	Руководитель(10%), Студент(100%)

4.2.1 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. 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 $t_{ож}$ используется следующая формула (4.1):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (4.1)$$

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

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} \quad (4.3)$$

где: $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (4.4)$$

где: $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 118$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 14$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

В таблице 4.2 приведена продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3-5) реализован экспертный способ по формуле (5.1-а). Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_{\text{Д}} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} * K_{\text{Д}}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{К}}$ (здесь оно равно 1,205). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 5.3.

Таблица 4.4 Трудозатраты на выполнение

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
				$T_{РД}$		$T_{КД}$		
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания.	НР	1	3	1,8	2,16	–	3,37	–
2. Поиск и изучение материалов	НР,С	4	5	4,4	1,05	5,28	1,63	8,23
3. Календарное планирование работ	НР	1	2	1,4	1,68	–	2,62	–
4. Поиск и изучение литературы	НР,С	7	10	8,2	1,47	9,84	2,29	15,35
5. Составление литературного обзора	С	4	7	5,2	–	6,24	–	9,73
6. Оценка правильности полученных результатов	НР	1	2	1,4	1,68	–	2,62	–
7. Исправление недочетов	С	1	2	1,4	–	1,68	–	2,62
8. Подготовка и получение неразъемных соединений	НР,С	4	6	4,8	5,76	2,3	8,73	3,58
9. Проведение испытаний на растяжение и ударную вязкость образцов	НР, С	4	6	4,8	1,72	5,76	2,68	8,73
10. Измерение микротвердости, образцов, испытания на изгиб	НР, С	4	6	4,8	1,72	5,76	2,68	8,73
11. Исследование макро и микроструктуры образцов	НР, С	4	6	4,8	2,3	5,76	3,58	8,73
12. Анализ результатов	НР, С	10	11	10,4	9,98	12,48	15,56	19,46
13. Составление пояснительной записки	С	10	11	10,4	–	12,48	–	19,46
14. Подготовка презентации и доклада	НР, С	6	7	7,8	0,93	9,36	1,45	14,6
Итого:		61	84	71.6	30,45	76,94	47,21	119,22

Таблица 4.5 Линейный график работ

Этап	НР	С	Февраль 2019			Март 2019			Апрель 2019			Май 2019		
			10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1	3,37	–	■											
2	1,63	8,23	■	■										
3	2,62	–			■									
4	2,29	15,35			■	■								
5	–	9,73					■							
6	2,62	–					■							
7	–	2,62					■							
8	8,73	3,58					■	■						
9	2,68	8,73						■	■					
10	2,68	8,73							■	■				
11	3,58	8,73								■	■			
12	15,56	19,46									■	■		
13	–	19,46										■	■	
14	1,45	14,6											■	■

НР – ■ С – ■

4.2.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.2.3 Расчет затрат на материалы

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. 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 4.6 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Листовой прокат 12Х18Н10Т	267	10 кг.	2670
Алмазная паста зернистости АСМ 1/0 ВОМ	860	1 уп.	860
Щавелевая кислота	250	3 кг.	750
Дистиллированная вода	17	5 л.	85
Наждачная бумага	450	3 уп.	1350
Итого:			5715

4.2.4 Расчет затрат на 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.

Таблица 4.7 Список оборудования для исследования

№	Наименование оборудования	Количество
1	Универсальная испытательная машина УТС 110М	1
2	Микротвердомер Duramin 5	1
3	Металлографический микроскоп Альтами МЕТ 1С.	1
4	Электроискровой станок	1
5	Копер маятниковый 2130 КМ-0,3	1

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ были в лаборатории. Для оборудования не было финансовых расходов.

4.2.5 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также

премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	47 104	2288,82	30	1,62	111 236,65
И	10 633	516,6	76	1,62	63 603,79
Итого:					174 840,44

выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Таблица 4.8 Затраты на заработную плату.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = MO/20,58 \quad (4.5)$$

учитывающей, что в году 247 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при пятидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{ПР} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,113$; (при пятидневной рабочей неделе) $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,113 * 1,3 = 1,62$.

4.2.6 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование,

составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$.
Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 174\ 840,44 * 0,3 = 52\ 452,13$ руб.

4.2.7 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}} \quad (4.6)$$

Где: $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (4.7)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_C \quad (4.8)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.9 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Универсальная испытательная машине УТС 110М	8	1,7	78,17
Микротвердомер Duramin 5	15	0,4	34,48
Металлографический микроскоп Альтами МЕТ 1С.	20	0,07	8,05
Электроискровой станок	7	2	80,47
Копер маятниковый 2130 КМ-0,3	4	0,4	9,19
Итого:			210,36

4.2.8 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}}) \cdot 0,1$$

Для нашей работы это:

$$C_{\text{проч.}} = (5715 + 174\,840,44 + 52\,452,13 + 210,36) \cdot 0,1 = 23321,79 \text{ руб.}$$

4.2.9 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения».

Таблица 4.10 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	5715
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	174 840,44
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	52 452,13
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	210,36
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	23321,79
Итого:		256 539,72

Затраты на разработку составили $C = 256\ 539,72$

4.2.10 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20\%$ от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 51 307,94 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

4.2.11 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(256\ 539,72 + 51\ 307,94) * 0,2 = 307\ 847,66 * 0,2 = 61\ 569,53$ руб.

4.2.12 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае $\text{ЦНИР(КР)} = 256\ 539,72 + 51\ 307,94 + 61\ 569,53 = 369\ 417,19$ руб.

Заключение

В ходе проделанной работы определены затраты на научно исследовательскую работу. Результаты расчетов доказывают целесообразность и эффективность проведения данного научного исследования. Анализ конкурентных методов получения неразъемных соединения показал, что

технологический процесс гибридной лазерной сварки является более перспективным.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Малюк Антон Павлович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 машиностроение

Тема ВКР:

12Х18Н10Т. Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали, полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Структура и свойства сварного соединения аустенитной стали (12Х18Н10Т), полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения. Рабочая зона - лаборатория контроля качества материалов и конструкций ИФПМ СО РАН.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации 30.12.2001 N 197-ФЗ – Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. ГОСТ Р 53114-2008 – Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 – В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 в помещении должен быть организован воздухообмен. – СН 181-70 Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата. – Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути. – Превышение уровня шума. – Отсутствие или недостаток естественного света.

	–Поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	–Воздействие на атмосферу вредных веществ при получения неразъемных соединений совместным воздействием электрической дуги и лазерного луча. –Воздействие на литосферу путем сливания химических растворов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Типичная ЧС возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Малюк А.П.		

5. Социальная ответственность

Введение

Развитие промышленности требует разработки и применения новых методов сварки, которые обладали бы низким энергопотреблением, высокой эффективностью и обеспечивали бы высокое качество изделий и конструкций. Перспективным промышленным методом получения неразъемных соединений является гибридная лазерно-дуговая сварка. Аустенитные нержавеющие стали являются важными термостойкими материалами, используемыми нефтяной промышленности, топливно-энергетическом секторе, химической промышленности, машиностроении. Сварка данных материалов является неотъемлемым процессом при производстве деталей и механизмов. В гибридной лазерно-дуговой сварки, в которой луч лазера и дуга воздействуют вместе на обрабатываемую зону что служит для повышения производительности процесса сварки, так как увеличивает скорости сварки. Значимость этого для структуры металла сварного шва аустенитной стали и связанной с ней сопротивляемости горячему растрескиванию, но и для коррозионной стойкости и механико-технологических свойств. Что делает актуальным исследование структуры и свойств данных соединений.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с законодательством Российской Федерации режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование

рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором [1].

Нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Рабочим временем является совокупный период выполнения индивидуальных трудовых обязанностей, определяемый договором и ПВР (правилами внутреннего распорядка), и иные, не связанные с фактической работой периоды. К иным периодам законодательно относятся:

- вынужденный простой, связанный с техническими, экономическими и другими причинами;
- время приёма пищи без оставления рабочего места, если отдельные перерывы для этих целей не предусмотрены;

Защита персональных данных – определяет порядок обработки персональных данных субъекта, обеспечивает защиту прав и свобод при обработке их персональных данных, а также устанавливает ответственность должностных лиц, имеющих доступ к персональным данным, за невыполнение требований законодательства, регулирующих отношения, связанные с обработкой и защитой персональных данных.

К субъектам персональных данных относятся:

Носители персональных данных, передавшие их (как на добровольной основе, так и в рамках выполнения требований нормативно-правовых актов) для приема, получения, поиска, сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, обновления, изменения, использования, распространения.

В целях информационного обеспечения могут создаваться общедоступные источники персональных данных, в которых с письменного

согласия субъекта персональных данных могут содержаться фамилия, имя, отчество и иные персональные данные.

Персональные данные защищаются от несанкционированного доступа в соответствии с нормативно-правовыми актами, нормативно распорядительными актами и рекомендациями регулирующих органов в области защиты информации, а также утвержденными положениями.

Сбор, хранение, использование и распространение персональных данных лица без письменного его согласия не допускаются. Персональные данные относятся к категории конфиденциальной информации. Режим конфиденциальности персональных данных прекращается в случаях обезличивания или по истечении 75 – летнего срока хранения, если иное не предусмотрено законодательством.

Персональные данные не могут быть использованы в целях:

- причинения имущественного и морального вреда гражданам;
- затруднения реализации прав и свобод граждан Российской Федерации.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78: рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество; рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте; рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 в помещении должен быть организован воздухообмен. Для улучшения воздухообмена необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования: общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки; правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-

голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшению зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

5.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке проекта.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Требования к микроклимату помещений устанавливаются в соответствии СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[32]
2.Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути		+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности[33]
3.Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности[34]
4.Отсутствие или недостаток естественного света.	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[35].

5. Поражение электрическим током.		+	+	1) ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [36]. 2) ГОСТ 12.2.091-2012 (IEC 61010-1:2001) Безопасность электрического оборудования для измерения, управления и лабораторного применения. [37]
-----------------------------------	--	---	---	---

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Поддержание микроклимата рабочего места в пределах гигиенических норм – важнейшая задача охраны труда.

Показатели микроклимата:

1. Температура воздуха;
2. Относительная влажность воздуха;
3. Скорость движения воздуха;
4. Мощность теплового излучения.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды поверхности тела расширяются. При понижении температуры окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются. Приток крови к поверхности тела замедляется, и отдача тепла уменьшается. Влажность воздуха оказывает большое влияние на терморегуляцию (способность человеческого организма поддерживать постоянную температуру при изменении параметров микроклимата) человека.

Повышенная влажность ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию вследствие снижения испарения пота, а слишком низкая влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Движение воздуха в помещении является важным фактором, влияющим на самочувствие

человека. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

5.2.3 Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути

При попадании на поверхность тела агрессивные жидкости могут вызывать химические ожоги, нередко тяжелые, способные привести к потере трудоспособности и даже инвалидности. При обширных химических ожогах возможен смертельный исход. Особенно опасно попадание агрессивных жидкостей в глаза, что может явиться причиной безвозвратной потери зрения.

Причинами местных поражений могут быть не только сами агрессивные жидкости, но и высокие концентрации в воздухе различных паров азотной кислоты и других веществ. При этом чаще всего поражаются органы дыхания и глаза, а также влажная кожа. Действие газообразных веществ на слизистые оболочки дыхательных путей и глаз и в значительной мере зависит от растворимости этих веществ в воде и способности вступать в химическое взаимодействие с тканями организма. Газы, хорошо растворимые в воде и имеющие высокую химическую активность, обычно оказывают сильное раздражающее действие на верхние дыхательные пути и глаза. При этом наблюдаются чувство першения в носу и в горле, резкая боль за грудиной и в глазах, кашель, затруднение дыхания, слезотечение. Воздействие особо агрессивных газов способно вызвать спазм гортани, что может привести к удушью.

Для проявления структуры металла шва неразъемного соединения применяется вредное вещество, такое как щавелевая кислота. Она является едким веществом, и относится к веществам 2-го класса опасности. Действует на сердечно-сосудистую систему и паренхиматозные органы. Обладает сильным раздражающим действием на кожу, слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей.

5.2.4 Превышение уровня шума

Шумом называют любой нежелательный звук или совокупность таких звуков. Звук представляет собой волнообразно распространяющийся в упругой среде колебательный процесс в виде чередующихся волн сгущения и разряжения частиц этой среды - звуковые волны. Источником звука может являться любое колеблющееся тело. При соприкосновении этого тела с окружающей средой образуются звуковые волны. Волны сгущения вызывают повышение давления в упругой среде, а волны разряжения - понижение. Отсюда возникает понятие звукового давления - это переменное давление, возникающее при прохождении звуковых волн дополнительно к атмосферному давлению.

Шум является одним из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды, воздействие которого на работающих сопровождается развитием у них преждевременного утомления, снижением производительности труда, ростом общей и профессиональной заболеваемости, а также травматизма.

Основными источниками в лаборатории, где проводятся исследования является универсальная испытательная машина УТС 110М и персональные компьютеры, а так же шум при шлифовании образцов.

5.2.5 Отсутствие или недостаток естественного света.

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза. Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное.

Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое

воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Превышение нормативных параметров освещения ведет к снижению работоспособности, так как чрезмерная яркость и блескость слепит глаза и искажает видимость. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям.

5.2.6 Поражение электрическим током человека.

Источником опасности при эксплуатации электрического оборудования является повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Электрический ток является важнейшим опасным фактором, воздействию которого может подвергаться персонал во время работы. Поражающее действие электрического тока зависит от следующих факторов: - значение и длительность проникания тока через тело человека; - род и частота тока; - индивидуальные особенности человека. Наиболее опасным является переменный ток с частотой 20...100 Гц.

Устанавливаются пять классов защиты: 0; 0I; I; II; III.

К классу 0 должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III.

К классу 0I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

К классу I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I

имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

К классу II должны относиться изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления.

К классу III следует относить изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении, не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении.

Действующим правилам устройства электроустановок помещения подразделены на три класса

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Общие травмы, вызванные действием электрического тока – электрический удар, могут привести к судорогам, остановке дыхания и сердечной деятельности. Местные травмы: металлизация кожи, механические повреждения, ожоги, также очень опасны.

5.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

5.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (категория Ib), приведены в таблице 5.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 5.2 Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Ia	21-23	40-60	0,1
Теплый	Ia	22-24	40-60	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Ia	19-23	40-60	0,1
Теплый	Ia	20-24	40-60	0,1

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию.

Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели.

5.3.2 Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути

При работе с опасными веществами применяют средства индивидуальной защиты (перчатки латексные, защитные маски, защитные очки). Хранение и работа опасных веществ производится в вытяжном шкафу.

При термических ожогах первой степени (краснота и припухлость) обожженное место надо обработать спиртовым раствором танина, 96%-ным этиловым спиртом или раствором перманганата калия. При ожогах второй и третьей степени (пузыри и язвы) допустимы только обеззараживающие примочки из раствора перманганата калия,

При ожогах кислотами необходимо промыть пораженное место большим количеством проточной воды, а затем 3%-ным раствором гидрокарбоната натрия, после чего – снова водой. При ожогах щелочами нужно промыть очаг поражения проточной водой, а затем разбавленным раствором борной или уксусной кислоты.

При попадании щелочи или кислоты в глаза необходимо промыть их проточной водой (3 – 5 мин), а затем раствором борной кислоты (в случае попадания щелочи) или гидрокарбоната натрия (в случае попадания кислоты)

При попадании на кожу едких органических веществ, не растворимых в воде, их необходимо смыть большим количеством подходящего растворителя. После оказания первой помощи пострадавший должен быть направлен в медпункт.

5.3.3 Превышение уровня шума

Для уменьшения шума в лаборатории были применены следующие меры: оборудование, которое производит сильный шум располагается в отдельных комнатах, благодаря чему сотрудники лаборатории не подвержены воздействию вредного шума. При работе с шумным оборудованием выдаются средства индивидуальной защиты в виде противошумных наушников.

5.3.4 Отсутствие или недостаток естественного света

Помещения подразделяются по задачам зрительной работы. Лаборатории относятся к I группе – помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения работающих на рабочую поверхность. В лаборатории используется совмещенное освещение. Научно – технические лаборатории средняя освещенность должно быть равным 400 люкс. В лаборатории находятся ЭВМ, крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Степень освещения помещения и яркость экрана ЭВМ должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз, что приводит к быстрой утомляемости глаз. Для работы с ЭВМ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов.

5.2.5 Поражение электрическим током

Перед допуском к проведению операций, выполняемых на оборудовании проводится инструктаж по безопасности с регистрацией в журнале. Инструктаж должен производиться периодически.

К работам по проведению технологических операций при проведении технологического процесса допускаются лица, имеющие квалификационную

группу не ниже III по электробезопасности для работы с электроустановками напряжением до 1000 В.

Для предотвращения поражения электрическим током в лаборатории применяются следующие основные методы защиты:

- изоляция, защитное заземление;
- недоступность токоведущих путей;
- использование двойной (рабочей и дополнительной изоляции);
- защитное отключение;
- применение специальных электробезопасных средств;
- организация безопасной эксплуатации.

При обнаружении неисправности обслуживающий персонал обязан отключить оборудование и принять меры к немедленному устранению обнаруженных неисправностей.

5.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды предприятиями связано в большей степени с загрязнением атмосферы.

Поэтому мероприятия по повышению экологической чистоты производства можно отнести к охране и рациональному использованию воздушного бассейна.

Эти мероприятия связаны с сооружением установок, для очистки воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией из предприятий. Одним из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли являются электрофильтры. Их принцип основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего заряда, передачи заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах, с которых они затем удаляются механически. Также широкое применение для очистки газов от частиц пыли получили сухие пылеуловители – циклоны.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс

поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов. В качестве адсорбентов (поглотителей) применяют такие вещества, как глинозем, силикагель, активированный уголь и др.

Работа по утилизации и захоронению отходов ведется в соответствии с требованиями «Правил охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации». В процессе производства образуется большое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть вновь использованы как сырье для промышленной продукции. Основными направлениями ликвидации твердых промышленных отходов является вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории предприятия до появления новой технической переработки их в полезный продукт – сырье. Порядок сбора, накопления, транспортировки, утилизации и захоронения отходов регламентируется приказами руководителя предприятия, главного инженера, инструкциями по эксплуатации оборудования.

Использованные растворы кислот собирают в тару, затем нейтрализуют твердыми карбонатами или гидроксидами натрия или калия. Затем жидкость выливают в канализацию с одновременной подачей воды.

Отходы производства в виде стружки и обрезков листовых материалов подлежат утилизации согласно СНиП 2.01.08-85. На сегодняшний день корпус сотрудничает с компанией «Экорекс», которая организует централизованный сбор и переработку вторичного сырья в Томске и Томской области.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе исследования в лаборатории возможны ЧС, так как используется электрическое оборудование и инструменты, не исключена возможность возникновения пожара. Основной причиной взрывов и пожаров во время научной работы является нарушение правил эксплуатации и техники безопасности при работе с электрическим оборудованием, подключенным к сети. Следовательно, при работе с оборудованием необходимо придерживаться

техники безопасности основанной на Тои Р-45-068-97: электроинструменты и электрические машины должны быть безопасными в работе, не иметь доступных для случайного прикосновения токоведущих частей, не иметь повреждений корпусов и изоляции питающих проводов.

К основным видам техники, предназначенной для защиты различных объектов от пожаров, относятся средства сигнализации и пожаротушения. В 5 корпусе предусмотрена электрическая пожарная сигнализация. Она должна быстро и точно сообщать о пожаре с указанием места его возникновения. Сигнализация обеспечивает также автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения и дымоудаления.

Наиболее широко применяемым средством тушения является вода. Для такого способа тушения предусмотрены пожарные краны. В качестве первичных средств пожаротушения используют огнетушители. В качестве огнетушителей в корпусе распространены огнетушители углекислотные ОУ-5. Преимущества углекислотных огнетушителей: эффективность тушения жидких и газообразных веществ и электроустановок под напряжением до 1000 В; отсутствие следов тушения; диапазон рабочих температур от -40 °С до +50 °С

При возгорании и пожаре в производственном помещении должна быть произведена аварийная остановка технологического процесса и отключены питающие рубильники.

При необходимости персонал должен быть эвакуирован из производственных помещений.

Вывод

При рассмотрении безопасности и гигиены труда при изучении процесса получения неразъемных соединений полученного при совместном воздействии электрической дуги и лазерного излучения и исследовании свойств и структуры полученных швов были выявлены вредные факторы такие как шум, микроклимат, освещенность, вредные вещества, и опасные поражение электрическим током. Проведен их анализ по воздействию фактора на организм

человека, по допустимым нормам и средствам защиты. Рассмотрена типичная чрезвычайная ситуация, представлены предупредительные меры по ее предупреждению. Проведено знакомство законодательных и нормативных документов по данной теме.

Заключение

На основании проделанных исследований сварных соединений сделаны следующие выводы:

1. Макроструктура сварного соединения представлена с достаточно малой зоной термического влияния как от сварочной дуги, так и от лазера, а также отсутствие сварных дефектов.

2. Микроструктура материала шва у образцов имеет дендритную структуру. В зонах термического влияния наблюдаются двойниковые границы. В образцах с толщиной 5,0 мм в металле швов наблюдается повышенное, относительно основного металла содержание ферритной фазы.

3. Образцы неразъемных соединений гибридной лазерной сварки двух толщин разрушаются в зоне металла шва и околошовной зоне. Образцы сварных соединений демонстрируют достаточно высокие механические свойства на уровне свойств основного металла.

4. Образцы имеют достаточно высокие значения ударной вязкости. Данные фрактографии показывают, что изломы образцов представлены типичным вязким ямочным строением, как для материала шва, так и для околошовной зоны в образцах.

5. В испытаниях на изгиб образцы демонстрируют достаточно высокие механические свойства. Средний угол изгиба образцов без явных визуальных сварных дефектов для обеих толщин составляет 150 градусов.

6. Для образцов характерны высокие показания микротвердости сварных соединений как в зоне сварного шва, так и в околошовной зоне. В образцах показатели микротвердости либо на уровне основного металла или околошовной зоны или на 15% выше микротвердости основного металла.

Проведенный анализ полученных результатов подтверждает что синергетический эффект гибридной лазерной дуговой сварки влияет на структурные и механические свойства материала. Полученные неразъемные соединения при оптимальных параметрах отвечают требованиям механических

свойств отраслей, в которых используется данный материал как неразъемное соединение.

Список публикаций студента

1. Воронцов А.В., Осипович К.С., Чумаевский А.В., Утяганова В.Р., Малюк А.П., Ступаков А.Н., Колубаев Е.А., Рубцов В.Е. Структура и механические свойства металла шва стали 09Г2С, полученного методом гибридной лазерно-дуговой сварки // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. –

2. Малюк А.П. Структура и механические свойства образцов стали 12Х18Н10Т, полученных методом гибридной лазерной сварки. / Малюк А.П. научный руководитель профессор д.т.н. С.Ю. Тарасов // Перспективы развития фундаментальных наук. XVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 23-26 апреля 2019 г., г. Томск.

Список используемых источников

1. Сварка аустенитных сталей // [Электронный ресурс]. // Режим доступа: http://svartek.ru/articles_view.php?id_articles=113
2. Acherjee В. Hybrid laser arc welding: State-of-art review / В. Acherjee // Optics and Laser Technology 99 (2018) 60–71.
3. Источник: Сварка и резка Россия 1 (2008) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog/blog1710.php>.
4. Acherjee В. Hybrid laser arc welding: State-of-art review / Acherjee В // Optic & Laser Technology. Volume 99, 1 February 2018, Pages 60-71.
5. Acherjee В. Chapter 9 - Laser Arc Hybrid Welding / Acherjee В. //Advances in LaserMaterials Processing (Second Edition) 2018, Pages 203-234.
6. Туричин Г. А. Технология гибридно-лазерно дуговой сварки: учеб.пособие / Г.А. Туричин, И. А. Цибульский, М. В. Кузнецов. Технология гибридной лазерно-дуговой сварки – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 48
7. Кривцун, И. В. Промышленное Применение Гибридной Лазерно-Дуговой Сварки (Обзор) / И.В. Кривцун // автоматическая сварка 28.01.2015. с.44-50
8. Petring, D. Recent progress and innovative solutions for laser-arc hybrid welding, / D Petring, Fuhrmann С. // in: Proc. of the 1st Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics, Melbourne, Australia., 2004, pp. 7–10.
9. Ках П., «Особенности Применения Гибридной Лазерно – Дуговой Сварки»/ П. Ках, А. Салминен. //Автоматическая сварка. 2010 г. 38 – 47 с.
10. Yan S. WangCharacteristics of microstructure and fatigue resistance of hybrid fiber laser-MIG welded Al–Mg alloy joints / S. Yan, Y. Nie, Z. Zhu, H. Chen, G. Gou, J. Yu, G. // Appl. Surf. Sci., 298 (2014), pp. 12-18.
11. Gao M. Effects of welding parameters on melting energy of CO₂ laser-GMA hybrid welding / M. Gao, X.Y. Zeng, Q.W. Hu // Sci. Technol. Weld. Join., 11 (5) (2006), pp. 517-522.

12. Григорьянц А.Г. Гибридные технологии лазерной сварки. Учебное пособие / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.М. Чирков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 87 с.

13. Bidi L. Schroed The use of exploratory experimental designs combined with thermal numerical modeling to obtain a predictive tool for hybrid laser/MIG welding and coating processes / L. Bidi, S. Mattei, E. Cicala, H. Andrzejewski, P.L. Masson, J.// Opt. Laser Technol., 43 (2011), pp. 537-545

14. El Rayes M. The influence of various hybrid welding parameters on bead geometry/ M. El Rayes, C. Walz, G. Sepold // Weld. J., 83 (5) (2004), pp. 147s-153s.

15. Liu L. //A new laser-arc hybrid welding technique based on energy conservation / L. Liu, X. Hao, G. Song //Mater. Trans., 47 (6) (2006), pp. 1611-1614s.

16. Dilthey U.A. Prospective offered by combining and coupling laser beam and arc welding / U.A. Dilthey, U. Wiesschemann //Weld. Int., 16 (9) (2002), pp. 711-719s.

17. Guen E.L. Analysis of hybrid Nd: Yag laser-MAG arc welding processes /E.L. Guen, R. Fabbro, M. Carin, F. Coste, P.L. Masson //Opt. Laser Technol., 43 (2011), pp. 1155-1166.

18. Sathiya P. Shielding gas effect on weld characteristics in arc-augmented laser welding process of super austenitic stainless steel / P. Sathiya, M.K. Mishra, R. Soundararajan, B. Shanmugarajan // Opt. Laser Technol., 45 (2013), pp. 46-55.

19. Zhang W. Study of metal transfer in CO₂ laser + GMAW-P hybrid welding using argon–helium mixtures / W. Zhang, X. Hua, W. Liao, F. Li, M. Wang // Opt. Laser Technol., 56 (2014), pp. 158-166

20. Nilsson, K. A.F.H. Kaplan Parameter influence in CO₂-laser/MIG hybrid welding / K. Nilsson, S. Heimbs, H. Engström // Proc. of 56th Annual Assembly of the International Institute of Welding, 2003, IIW Doc. IV-843-03, Bucharest, Romania (2003)

21. Adamiec J. Fibre laser usage in boiler elements' production for the power industry/ J. Adamiec, M. Więcek, W. Gawrysiuk // *Weld. Int.*, 24 (11) (2010), pp. 853-860
22. Seyffarth P. Laser-arc Processes and Their Applications in Welding and Material Treatment / P. Seyffarth, I.V. Krivtsun // Taylor & Francis, London (2002)
23. Ishide, T. Latest MIG, TIG, arc-YAG laser hybrid welding systems for various welding products / T. Ishide, S. Tsubota, M. Watanabe // in: Proc. of 1st International Symposium on High-Power Laser Macroprocessing, (SPIE 2003), vol. 4831, Osaka, Japan, 2002, pp. 347–352.
24. Bagger, C. Closing the weld gap with laser/MIG hybrid welding process / C. Bagger, B.D. Wiwe, N.A. Paulin, F.O. Olsen // in: Proc. of the 9th Nordic Laser Materials Processing Conference, Trondheim, Norway, 2003, pp. 113–124.
25. Gu X. Coupling mechanism of laser and arcs of laser-twin-arc hybrid welding and its effect on welding process / X. Gu, H. Li, L. Yang, Y. Gao // *Opt. Laser Technol.*, 48 (2013), pp. 246-253
26. Zhan, X. Comparison between hybrid laser-MIG welding and MIG welding for the invar316 alloy / X. Zhan, Y. Li, W. Ou, F. Yu, J. Chen, Y. Wei // *Opt. Laser Technol.*, 85 (2016), pp. 75-84.
27. Kim, D.Y. Weldability evaluation and tensile strength estimation model for aluminum alloy lap joint welding using hybrid system with laser and scanner head Trans. / D.Y. Kim, Y.W. Park // *Nonferrous Metals Soc. China*, 22 (2012), pp. s596-s604.
28. Gao, M. Process and joint characterizations of laser–MIG hybrid welding of AZ31 magnesium alloy / M. Gao, S. Mei, Z. Wang, X. Li, X. Zeng // *J. Mater. Process. Technol.*, 212 (2012), pp. 1338-1346.
29. Ma, N. Residual stresses in laser-arc hybrid welded butt-joint with different energy ratios / N. Ma, L. Li, H. Huang, S. Chang, H. Murakawa // *J. Mater. Process. Technol.*, 220 (2015), pp. 36-45

30. Watkins, K.G. Laser welding of magnesium alloys, magnesium Technology // TMS Annual Meeting and Exhibition, San Diego, USA, 2003, pp. 153–156.
31. Феллоуз Дж. (ред.) Фрактография и атлас фрактограмм Справочник.— Пер. с англ. Шур Е.А. — Под ред. Бернштейна М.Л. — М.: Металлургия, 1982. — 489 с.
32. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
33. Положение о порядке обработки и защите персональных данных в ИФПМ СО РАН [Текст]. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с.
34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
35. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
36. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
37. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
38. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
39. ГОСТ 12.2.091-2012 (ИЕС 61010-1:2001) Безопасность электрического оборудования для измерения, управления и лабораторного применения.

Приложение А

Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Малюк Антон Павлович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н.	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Рыбушкина С.В.	-		

Chapter 1.

Literature review.

1.1 General information about hybrid laser welding.

Hybrid welding is a fusion welding process that combines the principles of laser welding and arc welding.

In this process, the laser beam is used as the primary heat source that interacts in the same weld pool created by a secondary heat source, i.e, the arc generated during an electing arc welding process [5].

This hybridization effect leads to a number of process benefits over laser welding and arc welding, such as higher welding speed, deeper penetration, increased productivity, excellent gap-bridging capability, better process stability, higher process efficiency. Diagram of the process of hybrid laser welding is shown in Figure 1.1.

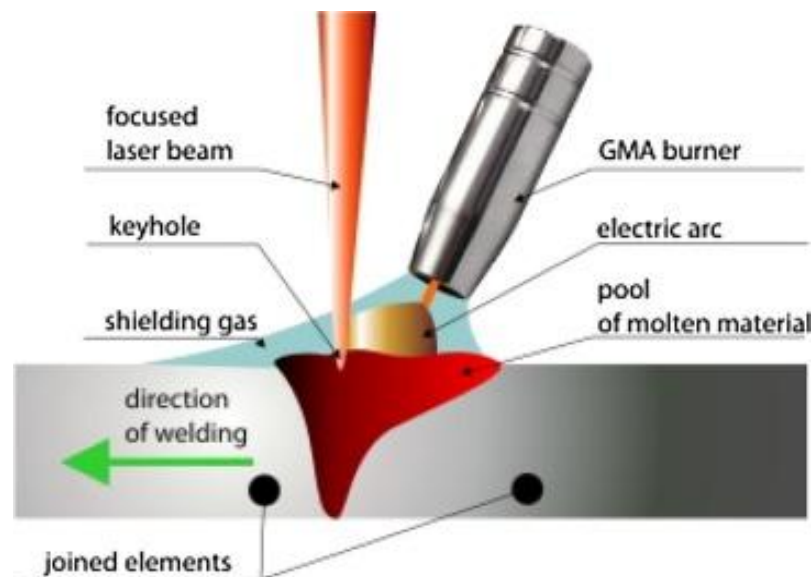


Figure 1.1. - The scheme of hybrid laser welding.

Laser arc hybrid welding has been demonstrated as far back as the late 1970s by Prof. W.M. Steen and his coresearchers at Imperial College, London. During those years, the group made the first attempts to combine laser beam and an electric arc [6, 22]. In our country, the first experiments on laser-arc welding were carried out at the Electric Welding institute by E.O. Patona around 1979-1980. Reliable and relatively inexpensive high-power laser sources appeared in the late 1980s, which made it

possible to begin using hybrid welding. In 1990s, there was a trend towards industrial implementation of hybrid welding [7]. The first industrial laser arc hybrid welding system was introduced in 2000 by Fraunhofer ILT, a Germany-based company, in an oil tank manufacturing industry [8].

Laser welding is preferred due to its ability to produce a narrow and deep weld pool, as the laser beam can be focused on a very small area which increases laser power density. Due to the tight focus and high speed of laser welding, heat input is minimized, which reduces the chances of thermal distortion in welded parts. However, laser sources are costlier and their costs drastically increase with the power requirements. The laser welding process is applicable to limited welding positions only. It has poor gap-bridging ability, thus requiring high precision in workpiece fit-up and edge preparations. Laser welding is also very difficult for materials with high reflectivity. On the other hand, arc-welding processes have excellent gap-bridging ability, high electrical efficiency and can weld materials have high reflectivity. Arc welding systems are also much cheaper than the laser systems of equivalent capacity. However, arc-welding processes have some drawbacks such as low energy density, which makes the process slower. Hybridization of laser welding with arc welding compensates for the drawbacks of both welding processes while also combining the advantageous features of laser welding and arc welding in a common interaction zone at the same weld pool.

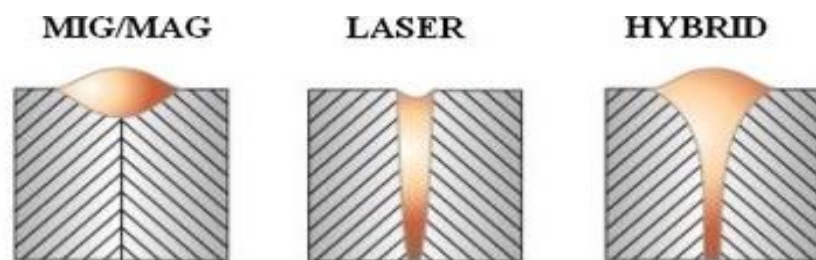


Figure 1.2. - Schemes of formation of welds in arc welding, laser welding and hybrid laser-arc welding [5].

The process of laser-arc metal welding can be implemented using two schemes: in the first scheme, the laser beam and the arc operate from different sides

(Figure 1.3, a); in the second scheme, the arc and the beam are applied on the one side (Figure 1.3, b). The choice of one or the other scheme of the laser-arc process is determined primarily by the design features of the welded assembly [12].

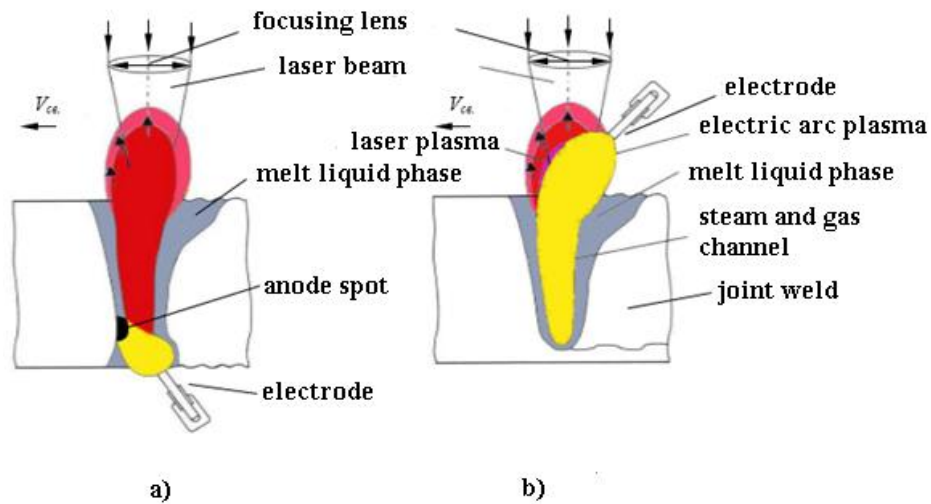


Figure 1.3. - Geometric schemes of the implementation of the process of laser-arc welding [12].

The process of hybrid laser arc welding is 50–100% faster than autogenous laser welding. It is noticed that a small gap in the joints is beneficial for hybrid welding, and the maximum welding speed is achieved for a gap of 0.6–1 mm. Steel plates 25 mm thick are successfully welded in a single pass using hybrid laser arc welding at a speed of 1 m/min. Thicker plates can also be welded using multiple welding passes. The use of hybrid laser arc welding can reduce the cost by up to 50% and increase productivity by up to 50%, as well as minimize the effort required for edge preparation and width control.

A number of laser arc hybrid welding systems are commercially available now. The industrial applications of the laser arc hybrid welding have grown in this century due to not only the development of commercially available integrated hybrid welding heads (Figure 1.4) [23], but also due to the availability of cheaper, reliable and efficient high power laser systems with the advancement of the instrumentation, automation and control.



Figure 1.4 - Integrated hybrid laser arc welding head developed by Fronius.

Hybrid consumable electrode laser welding

In a hybrid laser process with a consumable electrode, a CO₂ laser, Nd:YAG laser or fiber laser is used as the primary heat source, and an electric arc, commonly known as MiG (metal inert gas) welding, is used as a secondary heat source. In this process the arc is generated between the consumable metal electrode and the workpiece. The electrode is continuously fed from a spool. The laser generates a keyhole at weld pool, which ensures a deep penetration, whereas, the molten filler material produced during arc welding helps to fill the root gap and permits welding of the parts with higher gaps and fit-up issues. It is observed that the stability of arc improves when it combine, with a laser beam.

Non-consumable hybrid laser welding

In laser hybrid welding with non-consumable electrode, an electric arc created during welding is used as a secondary heat source. The arc is established between a nonconsumable tungsten electrode and the workpiece material. Additional filler materials may or may not be used as per the process requirement. The additional filler material is provided by using filler wire supplied externally.

The rate of metal deposition in laser with non-consumable electrode hybrid welding is much less than in the laser with consumable electrode hybrid welding,

because only a fraction of the heat of the arc is used to melt the filler wire in laser non-consumable electrode hybrid welding. Shielding gas is used to protect the weld pool while also protecting the electrode from atmospheric contamination or oxide formation. The melting rate of the base material for laser with non-consumable electrode hybrid welding is nearly twice the sum of the melting rate of laser welding and with non-consumable welding, individually. The ability of laser with non-consumable electrode hybrid welding for butt welding of very thin austenitic stainless steel sheets has been demonstrated.

1.2 Scope applications

The concept of a laser arc hybrid welding process has been shaped into a number of industrial applications over the years. Due to its advantages, this process is an attractive alternative for various industries. This process is of interest among industries using high-volume welding. Laser arc hybrid welding also found use in numerous industries, including aerospace, rolling stock, container manufacturing, offshore, construction, pipeline production, heavy engineering, and energy sectors. The major automobile industries such as Volkswagen and Audi have implemented laser arc hybrid welding in their production lines. A total of 48 hybrid welds are made in each Volkswagen Phaeton to produce high quality fillet and butt joints. On an Audi A8 its different parts are welded using laser arc hybrid welding [5]. It is also used in the production of modern high-speed trains, such as Lufthansa Airport Express (12 cars built 1 km of welds) [6].

Hybrid laser-arc welding is used in the power industry for welding dense wall panels and finned tubes of boilers. The hybrid welding process is of great interest to the shipbuilding industry worldwide. This process is actively used and distributed in European and Asian shipyards. Hybrid welding provides significant savings in time and money, replacing the multipass welding by implementing the deep penetration mode. This technology is used by MEYER in Germany, KVAERNER in Finland and FINCANTIERI in Italy [7].



Figure 1.5. - Laser-arc hybrid welded panels and stiffening elements used for the manufacture of vessels Meyer-Werft GmbH [5].

The laser arc hybrid welding process is used in the power industry to weld tight wall panels and the ribbed pipes of boilers. The laser MAG hybrid welding technique has been adopted by Energoinstal S.A. for fabrication of wall panels and ribbed pipes of boilers due to process stability, higher joint gap tolerance, deep penetration, and higher efficiency of the hybrid welding technique .

1.3 Advantages and disadvantages of hybrid laser-arc welding.

Hybrid laser-arc welding has several advantages over other welding methods.

Advantages of hybrid laser-arc welding:

- Higher welding speed and penetration depth with increased productivity
- Fewer welding passes in a multipass weld joint
- A narrow weld joints with small heat-affected zones
- Improved weld joints stability due to improved side wall fusion
- The use of a secondary heat source as an electric arc compensates for the need for a powerful laser source, which drastically reduces the installation cost;
- Less weld distortion because of lower heat input as compared to arc welding [10];

- Improved metallurgical properties when using filler material and reducing porosity due to the accelerated release of gas from a large weld pool, especially in partial penetration welds;
- hybrid laser arc welding can weld a variety of metals and alloys, including materials with high reflectivity and reactive metals;

Although the laser arc hybrid welding process has numerous process advantages, the process has certain limitations too, such as [5]:

- Very high capital cost as compared to arc welding;
- Accurate positioning and proper part fit-up are required;
- Large numbers of process parameters must be controlled;
- Additional safety measures must be taken.

1.4 Used laser beams in hybrid laser-arc welding.

Lasers are used as primary heat source in hybrid laser arc welding. CO₂ laser is the most powerful continuous wave laser. The output power of a continuous wave CO₂ laser can vary from a few W to 50 kW or more, and in pulsed mode the peak power can reach millions of W. The maximum available power of a serial Nd: YAG laser with continuous radiation is in the range of several kW. Peak Nd: YAG laser power can reach a level of gigawatts, with a pulse duration in the range of nanoseconds.

The main difference between the CO₂ laser and the Nd: YAG laser lies in their working wavelengths. The Nd: YAG laser has a shorter wavelength (1.064 μm) and also has a better beam quality compared to CO₂ laser (10.6 μm). A shorter wavelength laser beam is used to weld highly reflective metals such as aluminum, stainless steel, copper, gold, etc. Due to the shorter Nd: YAG laser wavelength, the laser beam can be transported from the source to the workstation through fiber optic cables [30].

Other potential alternatives of CO₂ and Nd:YAG lasers for hybrid laser arc welding are disk and fiber lasers. The advantages of fiber and disk lasers are their

high output power, high optical quality, compact size, high peak power and low cost per kW as compared to CO₂ and Nd:YAG lasers. Application of fiber lasers in hybrid laser arc welding is gaining popularity in recent years with increasing output power and high beam quality.

1.5 Main parameters of hybrid laser-arc welding.

Laser power

In hybrid laser welding, laser power is the main source of heat that provides deep penetration.

Power density has the greatest impact on laser welding. The power density is to the spot area of the beam. The power density increases with power and decreases with increasing beam spot area. The larger area of the laser beam creates wider keyholes with less penetration for a given laser power. The penetration of the weld increases with increasing laser power [11].

Welding speed

Laser hybrid welding has a high welding speed, which improves the performance of the process. However, the weld width and penetration depth depend on the welding speed. To compensate for this, it is necessary to apply more laser power and increase the feed rate of the filler wire to maintain a constant volume of the weld pool. Too high a welding speed can lead to improper melting or insufficient penetration of the weld, while a too low welding speed can create a large weld pool with deep penetration to the burning limit through the material and may cause partial decomposition [27].

Wire feed speed

The feed rate of the consumable electrode is determined based on the requirements of the deposition of the metal on the weld. A higher wire feed speed occurs when the weld needs to be connected to a larger part gap, which also contributes to an increase in the welding speed [20]. At a higher wire feed rate, a higher current is required to increase the deposition rate. Increasing the wire diameter also requires a higher current to maintain a constant arc length.

Electrode tilt angle

The angle of the electrode is controlled by holding the welding torch at an angle measured from the workpiece surface. The electrode angle is provided in such a way that the shielding gas coming from the torch nozzle effectively deflects the laser-induced plasma from the weld zone to increase the laser penetration of the weld. The angle of the electrode is usually about 45–65 degrees [15]. The laser beam is usually directed perpendicular to the surface of the workpiece for better penetration.

Shielding gas composition

Protective gases are used to protect the weld pool from the surrounding atmosphere. The composition of protective gases affects the characteristics of the arc, the formation of the weld. Inert gases, such as helium and argon, are the predominant components of protective gases used in hybrid laser arc welding processes. Also used for protective gases, nitrogen, carbon dioxide. Protective gases are chosen based on materials, laser sources and arc parameters [17, 18, 19].

The distance between the laser beam and the arc

The distance between the axis of the laser radiation and the end of the wire is one of the most important optimization parameters for hybrid laser-arc welding [7]. The arc is in close proximity with a laser beam to achieve a synergistic effect in a common weld pool. The laser beam and the arc are usually located at a distance of up to 3 mm. The best results were obtained at a distance of 1-2 mm from the laser beam to the arc. At long distances, it can lead to a loss of the hybridization effect, since they will act on different welding baths.