

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технология материалов
 Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Формирование структур в зонах термического влияния и механические свойства лазерного сварного соединения трубной стали 10Г2ФБЮ

УДК 621.643.411.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б61	Каширо Полина Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Даренская Елена Анатольевна	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Н.с.	Гордиенко Антонина Ильдаровна	к.т.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б.Б.	К.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде.
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации

	труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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 (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Б.Б. Овечкин
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б61	Каширо Полина Олеговна

Тема работы:

Формирование структур в зонах термического влияния и механические свойства лазерного сварного соединения трубной стали 10Г2ФБЮ	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №52-51/с от 21.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Образцы со сварным швом стали 10Г2ФБЮ в состоянии поставки и после обработки поперечно-винтовой прокаткой; Оптический микроскоп марки Zeiss Axiovert 25; установка для проведения механических испытаний на растяжение типа Поляни.</i>
---------------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1. Анализ литературы по тематике исследования;</p> <p>2. Структурные исследования образцов стали со сварным швом в состоянии поставки и после обработки поперечно-винтовой прокаткой;</p> <p>3. Аттестация механических свойств в условиях статического растяжения и ударного нагружения стали 10Г2ФБЮ в исходном и обработанном состояниях.</p>		
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Оптические изображения микроструктуры стали 10Г2ФБЮ; изображения структуры, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии; графики твердости; микрофотографии сварного шва.</p>		
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>			
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>		
<p>Литературный обзор, материалы и методы исследования, результаты исследований</p>	<p>Гордиенко А.И., н.с., к.т.н. ИФПМ СО РАН, ЛФМ и НМК</p>		
<p>Финансовый менеджмент...</p>	<p>Кащук И.В., доцент ОСГН ШПИБ, к.т.н.</p>		
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина М.С., ассистент ОТД ШБИП</p>		
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>			
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>			
<p>Реферат/abstract</p>			

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Н.с.	Гордиенко А.И.	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б61	Каширо Полина Олеговна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 92 страницы, 21 рисунок, 21 таблиц, 49 источник, 0 прил.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, поперечно-винтовая прокатка, лазерная сварка, отжиг, микроструктура, статическое растяжение.

Объектом исследования являются лазерные сварные соединения стали 10Г2ФБЮ, полученные на стали в горячекатаном состоянии и после поперечно-винтовой прокатки.

Цель работы – исследование закономерностей формирования зон термического влияния под воздействием лазерной сварки в низкоуглеродистой стали 10Г2ФБЮ в разных структурных состояниях и оценка механических свойств полученных сварных соединений.

В процессе исследования проводились работы по изучению структуры сварных соединений стали 10Г2ФБЮ с помощью светового микроскопа марки Zeiss Axiovert 25 и просвечивающих электронных микроскопов (ПЭМ) CM-12 и HT-7700 (Hitachi). Выполнены испытания на статическое растяжение. Измерена микротвердость по методу Виккерса с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой 100 г вдоль горизонтальной оси сварного шва. Проведен анализ всех полученных результатов.

В результате исследований были сделаны выводы, что в сварном шве стали после поперечно-винтовой прокатки по сравнению с горячекатаным состоянием структура в межкритической зоне термического влияния (ЗТВ) более дисперсная, однородная и равномерная, за счет исходной мелкозернистой феррито/бейнитно/перлитной структуры основного материала. В ЗТВ стали после поперечно-винтовой прокатки обнаружены структуры феррита, верхнего вырожденного бейнита и небольшая доля гранулярного бейнита, в которых присутствует М-А составляющая с объемной долей до 9%. Вследствие этого, характер распределения микротвердости в ЗТВ стали Х70 после поперечно-винтовой прокатки

плавный с постепенным снижением ее значений по мере приближения к основному материалу (от 370 HV и до 185 HV).

Область применения: результаты работы могут иметь практическое использование в виде технологии получения качественных сварных соединений с помощью лазерной сварки труб из исследуемой стали.

Значимость работы заключается в увеличении эксплуатации нефте- и газопроводов работающих в условиях низких температур.

Список использованных сокращений:

ЗТВ – зона термического влияния

ЗС – зона сплавления

ОМ – основной металл

Abstract

Final qualifying work 92 pages, 21 figures, 21 tables, 49 source, 0 applications.

Keywords: low carbon steel, helical rolling, laser welding, annealing, microstructure, static tension.

The object of research is laser welded joints of 10Mn2VNbAl steel, obtained on steel in a hot-rolled state and after cross-helical rolling.

The purpose of the work is to study the formation of heat-affected zones under the influence of laser welding in low-carbon steel 10 Mn2VNbAl in different structural states and evaluate the mechanical properties of the welded joints.

The structure of welded joints of 10Mn2VNbAl steel was investigated using a Zeiss Axiovert 25 light microscope and transmission electron microscopes (TEM) SM-12 and HT-7700 (Hitachi). Static tensile tests performed. The microhardness was measured by the Vickers method using a PMT-3 device with a load of 100 g along the horizontal axis of the weld. The analysis of all the results obtained.

As a result of the studies, it was concluded that in the weld of steel after cross-helical rolling compared to the hot-rolled state, the structure in the intercritical zone of thermal influence (HAZ) is more dispersed, homogeneous and uniform, due to the initial fine-grained ferrite / bainitic / pearlite structure of the base material. After cross-helical rolling, steel structures of ferrite, upper degenerate bainite, and a small fraction of granular bainite, in which there is an MA component with a volume fraction of up to 9%, were found in HAZ steel. As a result, the microhardness distribution pattern in the HAZ of X70 steel after cross-helical rolling is smooth with a gradual decrease in its values as it approaches the base material (from 370 HV to 185 HV).

Scope: the results of the work can have practical use in the form of technology for producing high-quality welded joints using laser welding of pipes from the studied steel.

The significance of the work is to increase the operation of oil and gas pipelines operating at low temperatures.

Оглавление

Введение	12
1. Литературный обзор	14
1.1 Низколегированные трубные стали	14
1.2 Технологии получения сварных соединений.....	16
1.2.1 Ручная дуговая сварка.	16
1.2.2 Автоматизированная сварка	18
1.2.3 Контактная стыковая сварка оплавлением.....	19
1.2.4 Лазерная сварка.....	20
1.3. Микроструктура и механические свойства сварных соединений после разных видов сварки	23
1.3.1 Особенности формирования микроструктур в сварных швах, полученных разными методами сварки.....	23
1.3.2 Влияние разных типов структур в зоне термического влияния на механические свойства сварного шва.....	28
2. Материалы и методы исследования.....	32
3. Результаты исследований.....	35
3.1 Формирование структуры и свойств в сварном соединении стали 10Г2ФБЮ в горячекатаном состоянии и после отжига 550°С и 600°С	35
3.1.1 Микроструктура в сварном соединении стали в горячекатаном состоянии	35
3.2. Особенности структуры и свойств в сварном соединении стали 10Г2ФБЮ после поперечно-винтовой прокатки.....	42
3.2.2. Изучение механических свойств образцов со сварным швом	46
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	49
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	50
4.1.3 SWOT- анализ.....	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	52

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	52
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	54
4.3 Бюджет научно-технического исследования	58
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	59
4.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60
4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы ...	62
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	63
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	65
5. Социальная ответственность	69
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	70
5.2 Профессиональная безопасность	72
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов	76
5.3 Экологическая безопасность	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	80
Выводы	82
Список публикаций студента	86
Список литературы	87

Введение

В России значительная часть газо- и нефтепровода расположена в суровых климатических условиях Сибири. Низкая температура, холодный грунт, снег и прочие погодные факторы отрицательно влияют на магистральный трубопровод. В связи с этим повышаются требования к механическим и эксплуатационным свойствам как материала, так и методов изготовления и монтажа. Электросварные трубы относятся к более востребованным изделиям трубопроката [1,2]. Качественный сварной шов должен обладать сопротивлением хрупкому разрушению, в нем должны отсутствовать дефекты и разупрочнения в зоне термического влияния (ЗТВ). Материалами для производства труб являются низкоуглеродистые стали класса прочности K56-K80. Материалы для трубопроводов должны обладать рядом важных свойств: высокая прочность, высокая ударная вязкость разрушения при низких температурах и хорошая свариваемость. Основной технологической операцией при изготовлении труб является многодуговая сварка под слоем флюса [3-5]. Существенный недостаток этого метода заключается в негативном влиянии большого тепловложения на формирование протяженных зон термического влияния (ЗТВ) и разное сопротивление этих зон разрушению [4]. Альтернативным способом сварочного процесса является метод лазерной сварки [6-10]. За счет высоких скоростей лазерной сварки значительно увеличивается ее производительность по сравнению с традиционными методами сварки. Было показано, что благодаря высокой концентрации энергии лазерного пучка на небольшой площади нагрева, протяженность зоны сплавления (ЗС) и ЗТВ значительно меньше по сравнению с другими методами сварки [6,7, 10]. При этом прочность лазерного сварного соединения низкоуглеродистой стали остается на уровне прочности основного материала [10]. Однако за счет

больших скоростей охлаждения в лазерном сварном соединении достигается более высокий уровень твердости [6,7].

Однако подробных исследований структур околошовной зоны трубных сталей после лазерной сварки и сведений об их связи с механическими свойствами в литературе недостаточно.

В связи с этим, **целью настоящей работы** являлось исследование закономерностей формирования ЗТВ под воздействием лазерной сварки в низкоуглеродистой стали 10Г2ФБЮ в разных структурных состояниях и оценка механических свойств полученных сварных соединений.

1. Литературный обзор

1.1 Низколегированные трубные стали

При строительстве газо- и нефтепроводов используют низколегированные трубные стали, которые должны обеспечить требуемый уровень механических свойств, вязкости разрушения и высокую способность сопротивления хрупкому разрушению. Необходимый класс прочности трубной стали варьируется от K56 до K80. В химическом составе выбранных сталей главным образом присутствуют следующие элементы: углерод до 0,13%; марганец до 1,6-1,8%; кремний до 0,16-0,50%; и различные микролегирующие элементы: ванадий, ниобий, хром, никель, титан, медь, магний, молибден, благодаря которым возможно улучшать свойства стали. В стали присутствуют и нежелательные, вредные добавки, такие как сера, фосфор, мышьяк, сурьма, олово. Разные микролегирующие элементы по-разному влияют на свойства стали [11]:

- Хром повышает жаростойкость, коррозионную стойкость, прокаливаемость стали;
- Никель увеличивает сопротивление стали хрупкому разрушению, снижает порог хладноломкости, повышает показатели пластичности и вязкости стали, увеличивает прокаливаемость;
- Марганец увеличивает прокаливаемость стали, но уменьшает вязкие свойства феррита;
- Кремний повышает жаростойкость. Добавляют данный элемент в малых количествах, так как он повышает склонность к тепловой хрупкости;
- Молибден и вольфрам повышают прокаливаемость стали (особенно в присутствии никеля), способствуют измельчению зерна и подавлению отпускной хрупкости;
- Ниобий оказывает влияние на измельчение зерна аустенита и феррита при нагреве под термическую обработку и прокатку;

- Вольфрам образует карбиды, которые повышают твердость и красностойкость;

- Ванадий увеличивает значения твердости и прочности стали и является хорошим раскислителем;

- Титан повышает прочность и плотность стали, является хорошим раскислителем, улучшает обрабатываемость и увеличивает коррозионностойкость;

- Сера - нежелательная примесь. Находится в виде соединения FeS , которое повышает красноломкость стали. Понижает коррозионную стойкость и сопротивление усталости;

- Фосфор является вредной примесью в составе стали. Он образует с железом соединение Fe_3P [12].

Комплекс легирующих элементов в стали, должен подбираться с учетом получения достаточного уровня свариваемости стали. Свариваемость металла – характеристика, зависящая от процесса получения данного металла и от технологии сварки, показывает реакцию металла на сварочный процесс и пригодность материала к требуемой эксплуатации труб. Данная характеристика является одним из главных параметров в выборе сварочной технологии [13-15]. Для оценки свариваемости проводится комплексный анализ:

- изучение микроструктуры, кинетику фазовых превращений аустенита;

- механических свойств металла околошовной зоны (ОШЗ);

- склонности стали к образованию холодных трещин [14].

На образование горячих и холодных трещин влияют условия сварки, а именно метод сварки, скорость, величина погонной энергии. В работах [14, 15] было показано, что оптимальной структурой, обеспечивающей максимальный уровень свойств, является высокодисперсный речный бейнит.

Сталь марки 10Г2ФБЮ входит в класс низколегированных марганцевых сталей. От традиционных трубных сталей типа 09Г2С данная марка отличается наличием сильных карбидо- и нитридообразующих элементов, таких как V, Nb, Ti, Al. Высокие прочностные характеристики обеспечиваются предварительной обработкой, а именно процессом термомеханической прокатки [13, 15, 16].

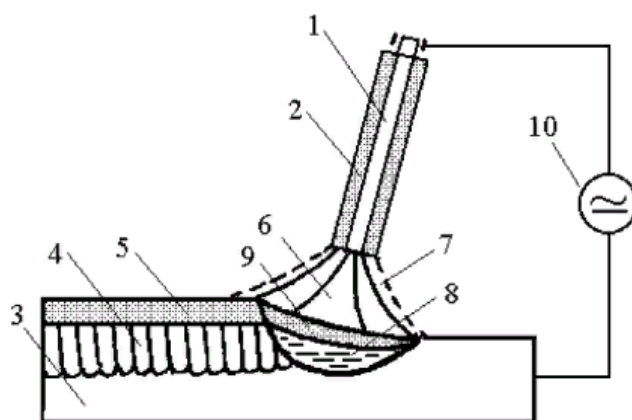
1.2 Технологии получения сварных соединений

Строительство магистральных газопроводов сводится к соединению составных секций друг с другом с помощью такого процесса как сварка. Все операции по сборке труб проводит сборочно-сварочная колонна, где на каждом посту реализуется своя операция: разделка кромок, сборка, сварка. При прокладке газо- и нефтепроводов пользуются следующими основными технологиями сварочного процесса:

- 1) Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами;
- 2) Технологии механизированной сварки;
- 3) Технологии автоматической сварки.

1.2.1 Ручная дуговая сварка.

Ручная дуговая сварка – это самый распространённый метод процесса сварки. Во время данного процесса происходит быстрый разогрев металла до температуры его плавления. Разогрев происходит благодаря воздействию электрической дуги, возникающей как эффект пробоя воздуха между электродом и свариваемыми заготовками. Существует два вида электродов – плавящийся и неплавящийся. В область между свариваемыми деталями подается присадочный материал, который заполняет зазор. При сварке плавящимся электродом (рисунок 1), дополнительные присадочные материалы не используются. В зоне сварочной ванны смешивается расплавленный металл детали с материалом присадочной проволоки.



1 – стержень электрода; 2 – покрытие электрода; 3 – основной металл; 4 – сварной шов; 5 – твёрдая шлаковая корка; 6 – электрическая дуга; 7 – газовая защитная атмосфера; 8 – жидкая металлическая ванна; 9 – жидкая шлаковая ванна; 10 – источник тока

Рисунок 1 – Схема ручной дуговой сварки плавящимся электродом

Во время дуговой сварки образуется шлак, который всплывает наверх шва. Шлак образуется из остатков неплавящегося электрода или в результате сгоревшей обмазки плавящегося электрода. Он обеспечивает защиту раскаленной металлической основы от вредного воздействия газовых смесей, которые находятся в атмосфере и отрицательно воздействует на свойства сварного шва после остывания, а именно понижает прочностные характеристики [17].

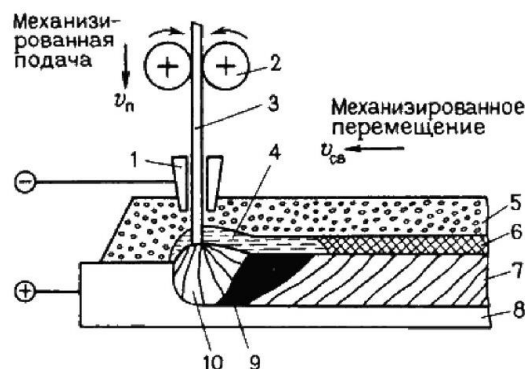
К преимуществам данной технологии сварных соединений относится: невысокая стоимость оборудования, возможность проводить сварку в любых условиях, сварка без использования дополнительных средств защиты шва в виде флюса или газовых смесей, применяется для сваривания металла большой толщины, простота технологии.

Отрицательные стороны данного процесса: необходимость многократной замены расплавленного электрода на новый (снижение производительности), очищение шва от шлака, низкий КПД, технология не

предназначена для сварки материалов с низкой температурой плавления, вероятность перегрева электрода.

1.2.2 Автоматизированная сварка

Сегодня на первом месте по применению в качестве производства и ремонта газо- и нефтепроводов стоит автоматическая дуговая сварка под флюсом. Данная технология позволяет изготавливать прочные, качественные швы. При автоматической сварке дугой подача электрода и перемещение дуги вдоль шва происходит автоматизировано (рисунок 2). Сварка осуществляется под слоем защитного флюса. Флюс защищает шов от воздействия окружающей среды и препятствует разбрызгиванию металла. Автоматическая сварка под флюсом, несомненно, имеет преимущество перед ручной дуговой сваркой. Так как процесс механизирован, сварка имеет большую производительность. Но есть и определенные недостатки [19]. Из-за высокой жидкотекучести флюса сварку данным методом проводят в нижнем положении. Из-за угрозы сквозного расплавления шва и перегрева металла в ЗТВ мощность дуги необходимо уменьшать. Также после дуговой сварки образуется большой объем наплавленного металла, у которого химический состав отличается от ОМ. Необходимо проводить несколько проходов сварки, тратится большое количество затрачиваемого материала проволоки для заполнения разделки. Все перечисленные недочеты уменьшают производительность этого метода сварочного процесса.



1 - токопровод, 2 – механизм подачи сварочной проволоки, 3 – сварочная проволока, 4 – жидкий шлак, 5 – флюс, 6 – твердая шлаковая корка, 7 – сварной шов, 8 – основной металл, 9 – жидкий металл, 10 – электрическая дуга

Рисунок 2 – Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

1.2.3 Контактная стыковая сварка оплавлением

Такая технология применяется при сварке деталей больших сечений.

Сварка данным способом осуществляется следующим образом:

- Включается в сеть трансформатор, между деталями появляется вторичное напряжение.
- Зажатые в губках детали постепенно приближаются друг к другу.
- Соприкосновение первых точек контакта осуществляется без давления.
- Большое контактное сопротивление вызывает мгновенный разогрев до плавления с образованием жидких перемычек в месте соприкосновения.

Контактную сварку возможно применять только в цехах, так как сварочное оборудование достаточно массивное и потребляет большое количество электроэнергии. Недостаток ее заключается в том, что полученные швы не всегда герметичны [20].

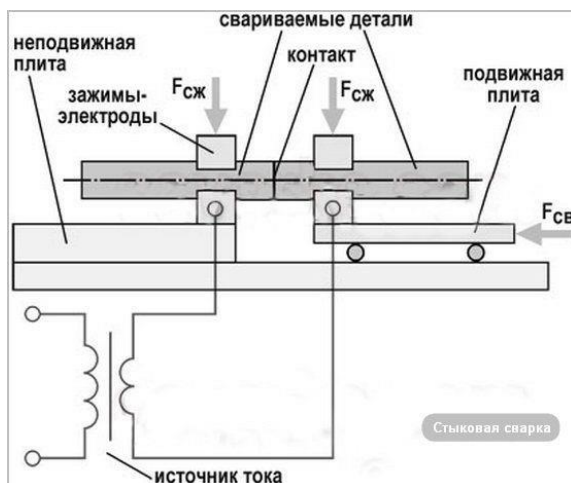


Рисунок 3 – Контактная стыковая сварка оплавлением

1.2.4 Лазерная сварка

Лазерная сварка является достаточно молодым методом. Эта технология получила большое развитие за короткое время использования. Лазер обладает большой энергией, что позволяет увеличить производительность и передачу этой энергии на большое расстояние [21].

В статье [18] описывается внедрение технологии лазерной сварки труб из нержавеющей стали на Новомосковском трубном заводе. Данный метод сварки показал хорошие результаты. Все свойства сварного шва оказались на уровне основного металла, лазерная установка позволила увеличить производительность в три раза. Сварное соединение является равнопрочным с ОМ. Однако, при применении такой технологии для сталей, используемых в качестве магистральных труб, наблюдается повышенная твердость в зоне термического влияния. Такой эффект происходит благодаря высокой скорости нагрева и охлаждения, шов в результате приобретает закалочные структуры. Высокая скорость охлаждения ограничивает диффузию углерода и приводит к формированию М-А составляющей, подобно тому, как было показано в работе [22].

Таким образом, одним из недостатков лазерной технологии сварных соединений, является повышенная твердость ЗТВ, существенно превышающая показатель твердости ОМ.

При однолучевой лазерной сварке встречается дефект в виде провисания сварного шва (рисунок 4). Такой дефект требует срочного удаления. Но его возможно избежать, применяя гибридный метод лазерно-дуговой сварки [23].

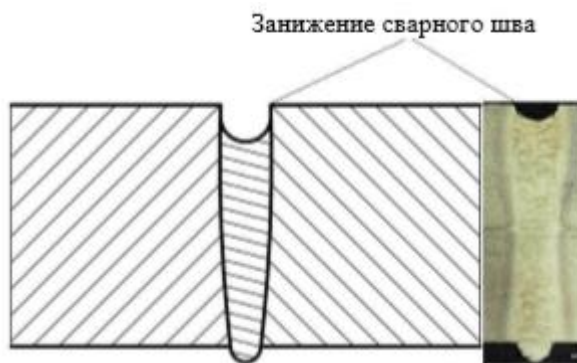


Рисунок 4 – Занижение сварного шва

Метод лазерной сварки совершенствуется, на сегодняшний день существуют двухлучевая сварка (рисунок 5) и гибридная лазерно-дуговая сварка в среде защитного газа [1, 21].

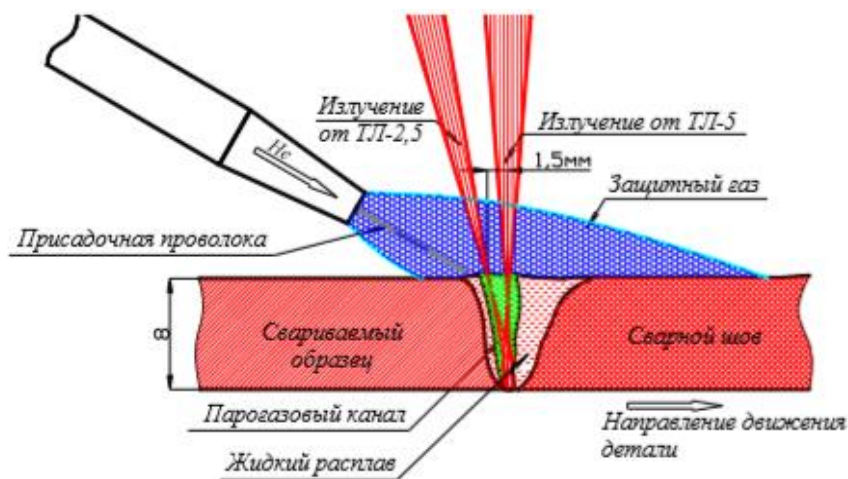


Рисунок 5 - Схема двухлучевой лазерной сварки

По скорости двухлучевая лазерная сварка не уступает однолучевой. Производительность процесса также соизмерима. В микроструктуре такого шва отсутствуют закалочные структуры мартенсита, бейнита. Их отсутствие объясняется меньшей скоростью охлаждения жидкой фазы. Структура шва

феррито-перлитная. Микротвердость находится на допустимом уровне [1, 21].

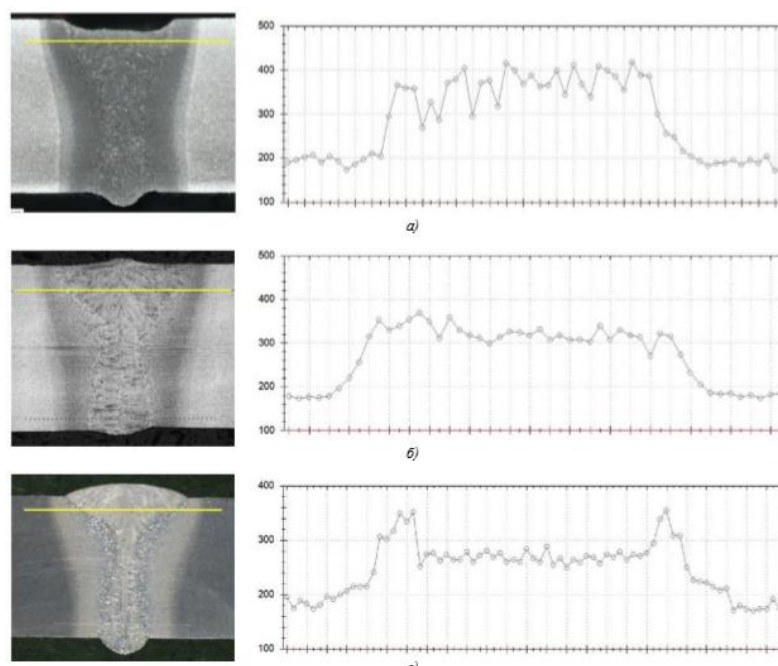
Гибридный способ лазерной сварки (рисунок 6) способствует получение швов с большой глубиной проплавления.



Рисунок 6 - Схема гибридной лазерно-дуговой сварки

Появляется возможность использовать присадочные материала требуемого состава, уменьшается количество дефектов вида «непровар», образуется гладкий шов. В качестве присадочного материала применяется порошковая проволока нужного состава с определенными легирующими добавками, что значительно улучшает структуру шва [1,23].

В статье [23] применяли разные методики проведения лазерной сварки с целью снижения микротвердости в сварном шве. Было показано, что меньший уровень микротвердости (рисунок 7), зафиксированный для образца, сваренного по слою флюса, свидетельствует о положительном влиянии флюса на скорость охлаждения сварного шва и формирование благоприятных структур, что крайне важно для лазерной сварки закаливаемых сталей типа 09Г2С.



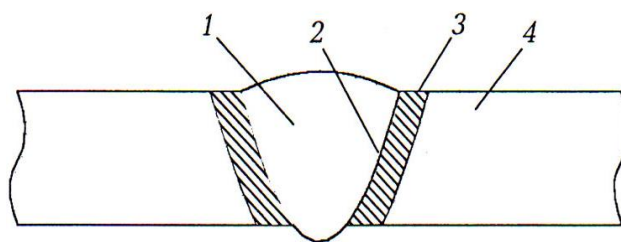
а – сварка без сварочных материалов; б – сварка с присадочной проволокой в среде защитного газа; в – сварка с присадочной проволокой по слою флюса

Рисунок 7 - Макроструктуры лазерных сварных соединений и графики микротвердости

1.3. Микроструктура и механические свойства сварных соединений после разных видов сварки

1.3.1 Особенности формирования микроструктур в сварных швах, полученных разными методами сварки

Сварное соединение состоит из сварного шва и прилегающих к нему с двух сторон зон термического влияния. Сварной шов – это участок, во время процесса сварки находящийся в жидкофазном состоянии (рисунок 8). В зависимости от метода сварки зоны термического влияния делят на субзоны, отличающиеся друг от друга микроструктурой, дисперсностью фаз и, следовательно, механическими свойствами.



1 – сварной шов, 2 – зона сплавления, 3 – зона термического влияния, 4 –
основной металл

Рисунок 8 – Схема сварного соединения

Микроструктура ЗТВ зависит от температуры нагрева, скорости охлаждения, химического состава материала и предшествующих обработок. В сварочном шве наблюдается весь спектр структур благодаря тому, что охлаждение жидкой ванны осуществляется неравномерно. ЗТВ металла, полученного методом дуговой сварки, делится на участки в зависимости от воздействия температуры и получаемой структуры: участок неполного расплавления, участок перегрева, участок нормализации, участок неполной кристаллизации, участок рекристаллизации и участок синеломкости (рисунок 9) [24]. Перечисленные участки являются основными, их наличие или отсутствие зависит от применяемой технологии сварочного процесса.

Переходная зона от металла шва до ОМ называется участком неполного расплавления. В этой области происходит нагрев выше температуры плавления металла, этот участок важен и от него в основном зависит качество сварного соединения, так как здесь происходит сплавление кристаллов металла шва с основным металлом. Для соединений выполненных дуговой сваркой эта зона составляет 0,1-0,5 мм.

Участок перегрева - зона сильно перегретого основного металла (1100-1500 °С), структура крупнозернистая. В этой области происходит значительное понижение пластичности и ударной вязкости. При образовании сварных соединений с большим содержанием углерода в участке перегрева могут появиться закалочные структуры. Размер участка может достигать 3-4

мм при дуговой сварке. Для уменьшения размера области увеличивают скорость сварки или выполняют соединение в несколько проходов.

Участок нормализации подвергается нагреву от 930 до 1100 °С. Быстро кристаллизуется и в результате формируется мелкозернистая структура. Механические свойства участка значительно повышаются в сравнении с ОМ. Длина участка от 0,2 до 4-5 мм.

Участок неполной перекристаллизации нагревается до 720-850 °С. Данная область испытывает неполное превращение, проходит процесс неполной перекристаллизации. В итоге вокруг зерен феррита наблюдаются мелкие зерна феррита и перлита, образовавшиеся в процессе перекристаллизации. Размер участка от 0,1 до 0,5 мм в зависимости от режимов и вида сварки.

В участке рекристаллизации температура доходит до 450-720 °С. Этот участок можно наблюдать при сварке сталей, подвергавшихся пластическим деформациям (при сварке проката). На этом участке наблюдается восстановление зерен, разрушенных при деформации. Размер участка от 0,1 до 1,5 мм.

Последний участок синеломкости лежит в промежутке температур от 200 до 450 °С. Здесь наблюдаются синие цвета побежалости. Структурных изменений в этой области нет, но происходит значительное снижение пластических деформаций.

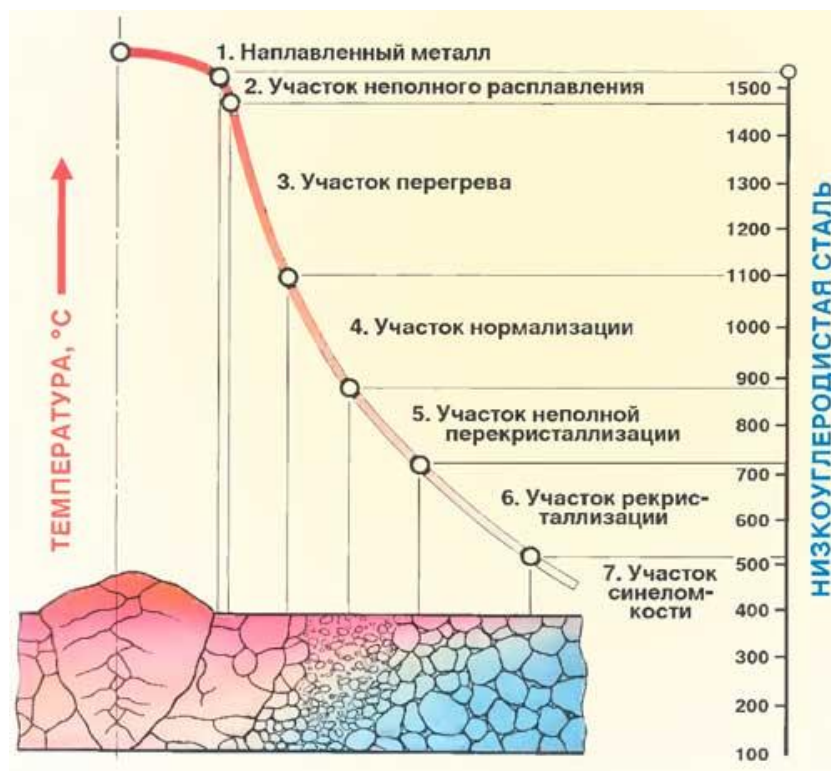


Рисунок 9 – Структура сварного соединения, полученного методом дуговой сварки

Метод и параметры сварочного процесса, такие как скорость нагрева и охлаждения, величина погонной энергии значительно влияют на количество образующихся участков, их структуру, следовательно, на качество сварного соединения. За счет увеличения скорости охлаждения в структуре формируются феррито-бейнитные структуры. Также при высоких скоростях охлаждения структура приобретает более дисперсную морфологию.

В работе [25] показано, что необходимо охлаждать металл ЗТВ в интервалах скоростей охлаждения 20-50 и 30-60 °C/с. Такой диапазон обеспечивает требуемый уровень ударной вязкости разрушения и отсутствие участков разупрочнения в ЗТВ.

Известно, что в низкоуглеродистых сталях в зависимости от скорости охлаждения может формироваться целый спектр сложных бейнитных структур. Для грамотного описания структур, формирующихся в зонах

термического влияния сталей, необходимо иметь представление о существующих классификациях бейнитных структур.

Согласно классификации представленной в работе [27], существует пять основных морфологий низкоуглеродистого бейнита: гранулярный бейнит (GB), верхний бейнит (UB), вырожденный верхний бейнит (DUB), нижний бейнит (LB) и вырожденный нижний бейнит (DLB).

Гранулярный бейнит определяется как микроструктура, состоящая из квазиполигонального бейнитного феррита со второй фазой – участками мартенситно-аустенитной (М-А) составляющей, состоящей из островков аустенита или мартенсита. Характерной особенностью гранулярного бейнита является отсутствие карбидов в микроструктуре.

Верхний бейнит имеет реечную морфологию бейнитного феррита, поскольку он образуется при более низкой температуре по сравнению с гранулярным бейнитом. Вторая фаза, сформированная в верхнем бейните, образуется из обогащенного углеродом остаточного аустенита по границам реек бейнитного феррита и всегда представляет собой цементит.

Вырожденный верхний бейнит (DUB) формируется, когда образование цементита подавляется, и представляет собой микроструктуру, состоящую из параллельных реек бейнитного феррита, между рейками которого расположены участки М-А составляющей, состоящей из остаточного аустенита и/или мартенсита.

Нижний бейнит, который образуется в низкоуглеродистых сталях, также имеет реечную морфологию бейнитного феррита. Существенная разница между верхним и нижним бейнитом заключается в расположении карбидов. В нижнем бейните цементит выпадает внутри ферритных реек (рисунок 10). Частицы цементита наклонены под углом около 60° к направлению роста ферритных реек.

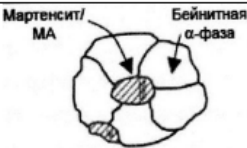




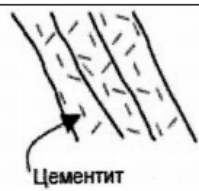
Продукт	Названия и обозначения	Морфология	Схематичное изображение
Гранулярный бейнит	Бескарбидный бейнит	Феррит неправильной формы и МА	
Верхний бейнит	ВII бейнит в низкоуглеродистых сталях B2	Реечный феррит с цементитом по границам реек	
Вырожденный верхний бейнит	VI бейнит в низкоуглеродистых сталях B3	Реечный феррит с МА по границам реек	
Нижний реечный бейнит	VIII бейнит в низкоуглеродистых сталях B1	Реечный феррит с цементитом внутри реек	
Нижний бейнит		Пластинчатый феррит с цементитом внутри реек	
Реечный мартенсит		Отпущенный реечный мартенсит	

Рисунок 10 – Классификация бейнитных структур [27]

1.3.2 Влияние разных типов структур в зоне термического влияния на механические свойства сварного шва

Механические характеристики сварного соединения напрямую связаны с микроструктурным состоянием металла. Но в литературе, нет единого мнения, о том какая именно структура будет обеспечивать оптимальных комплекс свойств сварного соединения. Так, в работах [14,26,28] было показано, что сварные швы со структурой гранулярного

бейнита с участками с М-А составляющей имеют пониженные показатели вязкости разрушения. Тогда как формирование реечного бейнита приводит к улучшению показателей вязкости разрушения [26].

В работе [2] показано, что после многодуговой сварки под флюсом стали марки 06Г2БМ структура околошовного участка ЗТВ состоит из феррита, перлита, бейнита со скоплениями цементитных выделений, также после сварки снизилась дисперсность структуры участка. Были обнаружены обогащенные углеродом участки остаточного аустенита и островки М-А фазы. Крупное зерно и наличие высокоуглеродистых выделений, служит причиной снижения уровня ударной вязкости разрушения. Для устранения неблагоприятных структур авторы предлагают два способа: снижение уровня тепловложения во время сварки, либо применение после сварки последующей термической обработки (ТО) с режимом перекристаллизации (режим, близкий к нормализации). Второй метод проверили экспериментально. ТО после сварки позволило обеспечить значение ударной вязкости выше требуемой стандартом. С. И. Кучук-Яценко и соавторы [29] определили необходимую температуру нормализации сварных соединений, которая составляет 950-1000 °С, длительность выдержки при этой температуре 2,5-3,0 мин, скорость охлаждения должна быть в пределах 8-12 °С/с (рисунок 11).

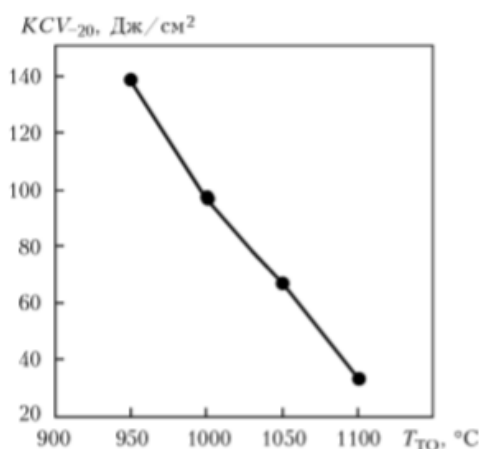


Рисунок 11 - Зависимость значений ударной вязкости сварных соединений от температуры ТО

Авторы в статье [14] подтверждают, что снижение вязкости разрушения связано с ростом зерна аустенита, образованием хрупких фаз на границах бейнитных зерен. Изменение формы бейнита (реечного на гранулярный), появление ферритной сетки по границам бывшего аустенитного зерна также снижают показатели ударной вязкости разрушения. На изломах образцов во многих случаях обнаружен хрупкий транскристаллитный характер разрушения.

Для получения высокого уровня ударной вязкости разрушения и трещиностойкости сварного соединения металла из низколегированной высокопрочной стали также следует регулировать содержание ниобия ($\leq 0,05$ %) и молибдена ($\leq 0,20$ %) [15]. Было показано, что в присадочных материалах молибден должен находиться в количестве, обеспечивающим его массовую долю не выше 0,30 %.

В работе [30] в сварном соединении низкоуглеродистой бейнитной стали был проведен анализ значений ударной вязкости разрушения для каждого участка ЗТВ. Авторы выдели межкритическую зону термического влияния и разбили ее на три субзоны в зависимости от температуры нагрева:

- invariant subzone. Нагрев происходит от температуры A_{c1} до 770°C , ударная вязкость на высоком уровне,
- зона охрупчивания (embrittlement subzone). Нагрев от 770°C до 830°C , экстремально низкая ударная вязкость;
- reduction subzone. Нагрев от 830°C до A_{c3} , ударная вязкость ниже ОМ, но выше чем во второй зоне.

Было показано что размер блоков М-А составляющей влияет на величины ударной вязкости разрушения, поскольку М-А инициирует хрупкое разрушение. Блочные компоненты М-А составляющей размером менее 3,0 мкм не оказывают вредного воздействия на ударную вязкость, поэтому в первой зоне (invariant subzone) высокий уровень величин ударной

вязкости разрушения. Как только размер М-А составляющей превышает критическое значение 3,0 мкм, происходит охрупчивание ЗТВ, что наблюдалось во второй зоне (embrittlement subzone). Нагрев выше 830°C сопровождается переходом М-А составляющей от блочной формы к удлинённой форме (slender type), вследствие этого ударная вязкость увеличивается [28, 30]. То есть, уменьшения размера и доли М-А составляющей способствует увеличению ударной вязкости разрушения.

Таким образом, на основании проведенного литературного обзора можно заключить, что поскольку структурно-фазовое состояние металла шва и зоны термического влияния является одним из главных факторов, влияющих на механические свойства и хладостойкость, исследование закономерностей полиморфных превращений и строения промежуточных микроструктур в околошовной зоне сварного соединения, является основополагающей задачей.

2. Материалы и методы исследования

Для исследований была взята низкоуглеродистая малолегированная трубная сталь 10Г2ФБЮ в горячекатаном состоянии. Ее состав приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав стали 10Г2ФБЮ

C, %	Mn, %	V, %	Nb, %	Si, %	Ti, %	Cu, %	Al, %	P, %	S, %
0.13	1.6	0.05	0.04	0.4	0.05	0.3	0.029	0.013	0.01

Второе структурное состояние стали 10Г2БФЮ, которое было исследовано – состояние после поперечно-винтовой прокатки (ПВП). Сталь в горячекатаном состоянии подвергали обработке поперечно-винтовой прокаткой (ПВП) на трехвалковом министане РСП 14-40 при температуре 920°C. Прокатка начиналась вблизи области критической точки Ar_3 и заканчивалась в верхней части ($\gamma + \alpha$) – области.

Пластины для сварки вырезали из горячекатаного прутка и прутка после поперечно-винтовой прокатки вдоль направления прокатки. Лазерная сварка пластин осуществлялась на автоматизированном лазерном технологическом комплексе «Сибирь-1», включающем непрерывный CO₂-лазер с мощностью до 8 кВт, разработанный в ИТПМ СО РАН. Характеристики генерируемого излучения следующие: длина волны излучения $\lambda = 10.6$ мкм; максимальная мощность излучения до 8 кВт; качество пучка $BPP = 4.7$ мм*мрад. Для защиты сварного шва и корня шва использовался инертный газ (гелий). С целью получения сварных швов без внешних дефектов в виде пор, непроваров и трещин, первоначально оптимизировали процесс сварки: скорость сварки V , мощность излучения P и место расположения фокусного пятна Δf относительно верхней границы листа. Лазерная обработка, имитирующая процесс сварки, выполнялась за один проход поперек цельной пластины стали при заглублении фокуса

внутри пластины в режиме кинжального проплавления. Оптимальные условия сварки: мощность излучения P , скорость сварки V , место расположения фокусного пятна Δf относительно верхней границы листа и размеры пластин для сварки приведены в таблице 2. Пластины располагались так, чтобы продольная ось шва была ориентирована вдоль направления прокатки.

Таблица 2 - Размеры пластин и основные параметры лазерной сварки

Тип образцов	Размеры пластин, мм	P , кВт	V , м/мин	Δf , мм
тип I	55×55×1.2	1.2	1	-2
тип II	55×55×3	2.2	1	-3

Для пластин со сварным швом стали после горячей прокатки были проведены дополнительные отжиги при температурах 550°C и 600°C в течении 60 мин.

Исследования микроструктур стали проводили на оптическом микроскопе марки Zeiss Axiovert 25 (рисунок 13), а также просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ) CM-12 и HT-7700 (Hitachi). Образцы для металлографических исследований были подготовлены путем травления в 3% растворе азотной кислоты в спирте. С целью локального исследования структур в зонах термического влияния для вырезки фольг использовали систему фокусируемого ионного пучка FIB (FIB2100).



Рисунок 13 – Световой микроскоп марки Zeiss Axiovert 25

Микротвердость по Виккерсу измеряли с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой 100 г вдоль горизонтальной оси сварного шва.

Механические испытания на статическое растяжение образцов проводили на установке типа Поляни (рисунок 14) со скоростью движения захватов $\sim 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ при температуре испытания $T_{\text{исп}} + 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы для механических испытаний вырезали методом электроэрозионной резки в форме двойной лопатки с размерами рабочей части $15 \times 3 \times 1 \text{ мм}$.



Рисунок 14 – Установка для механических испытаний типа Поляни

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

Студенту:

Группа	ФИО		
4Б61	Каширо Полина Олеговна		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	ОМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технология материалов

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Анализ конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

Оценка конкурентоспособности ИР
Матрица SWOT
Диаграмма Ганта
Бюджет НИ
Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		30.01.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б61	Каширо Полина Олеговна		30.01.20

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» включает в себя анализ оценки практичности и целесообразности научно-исследовательской работы, коммерческой привлекательности конечной продукции данной НИР. Также рассматривается востребованность продукта на рынке, бюджет научного исследования, время необходимое для продвижения разработанного продукта на рынок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести оценку коммерческого потенциала и ресурсной, экономической эффективности научно-исследовательской работы;
- составить календарный план работ;
- оценить стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов для исполнения проекта

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для дальнейшего внедрения метода лазерной сварки в промышленность необходимо определиться с потенциальными потребителями.

Данная сварка обладает высокой мощностью, скоростью, а, следовательно, и производительностью. Механические свойства шва

сохраняются на уровне основного металла, что говорит о его качестве. Процесс сварки происходит без предварительной обработки кромок.

Потребителями исследуемого метода могут стать предприятия нефтегазовой промышленности, изготовители трубопроводов, предназначенных для эксплуатации в суровых условиях крайнего севера.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В качестве конкурентов выбраны следующие технологии сварных соединений:

- Лазерная (исследуемая) сварка (1)
- Плазменная сварка (2)
- Дуговая сварка (3)

Таблица 5 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,3	5	4	2	1,5	1,2	0,6
2. Энергоэкономичность	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
3. Уровень шума	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
4. Безопасность	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
5. Автоматизация процесса	0,1	5	5	1	0,5	0,5	0,1
6. Простота эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Конкурентоспособность технологии	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Итого	1	33	28	19	4,6	3,75	2,55

По производительности труда плазменная сварка уступает лазерной за счет скорости получения сварного шва. Также лазерная сварка очень

универсальна, помимо металла ей можно сваривать керамику, пластмассу, стекло и другие материалы, в отличие от остальных методов. Не требуются дополнительные присадочные материалы.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (1)$$

Где К – конкурентоспособность научно-исследовательской разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл i -го показателя.

4.1.3 SWOT- анализ

SWOT-анализ позволяет провести оценку сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта.

В этом разделе будут описаны положительные и отрицательные стороны исследуемого метода, какие могут возникнуть угрозы со стороны внешней и внутренней среды, а также возможности применения данной технологии.

Таблица 6 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Высокая скорость процесса сварки -Точность -Высокая производительность -Высокие показатели механических и эксплуатационных свойств шва 	<p>Слабые стороны:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Большая стоимость лазерных установок, -Сложность и несовершенство конструкции
--	--	--

	–Экологичность технологии	
<p>Возможности:</p> <p>1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>2. Возможность сварки в труднодоступных местах</p>	<p>Высокие показатели точности, производительности и безопасности для окружающей среды позволяют использовать данный метод для получения качественных сварных соединений и в дальнейшем его совершенствовать</p>	<p>Высокая стоимость установки. Следовательно, целесообразно ее применять на промышленных предприятиях.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>1. Развитие конкуренции в связи с разработкой новых технологий сварочного процесса</p>	<p>Появление или улучшение других видов сварки, что приведет к бессмысленности дальнейшего исследования</p>	<p>Появление новых технологий и по более низкой цене снизит заинтересованность потребителей в данном исследовании.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам деятельности приведен в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Состав рабочей группы

№ п/п	Ф.И.О, место работы, должность	Роль в проекте	Основные обязанности
1	Горденко А. И., ИФПМ СО РАН н.с., к.т.н.	Руководитель проекта	Координация деятельности исполнителя; проверка и анализ результатов проекта
2	Каширо П. О., ТПУ ИШНПТ ОМ, инженер	Исполнитель проекта	Выполнение проекта

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления и темы исследований	1	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	2	Выбор темы исследования	Научный руководитель, инженер
	3	Изучение литературы по заданной тематике исследования	Инженер
Проведение НТИ			

Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ	Научный руководитель
Проведение исследования	6	Подготовка образцов к исследованию	Инженер
	7	Проведение испытаний на ударную вязкость образцов после сварки	Инженер
	8	Исследование микроструктуры низкоуглеродистой стали 10Г2ФБЮ после сварки	Инженер
	9	Измерение микротвердости сварного шва	Инженер
	10	Проведение испытаний на статическое растяжение	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка и анализ полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	12	Обобщение и формулировка выводов о проведённом научном исследовании	Научный руководитель, инженер
Оформление отчета по работе	13	Составление отчетной документации исследования	Инженер
	14	Сдача проекта	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Для расчета стоимости исследуемого проекта необходимо определить трудоемкость осуществляемых работ, которая находится по формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Следующая формула позволяет перевести рабочие дни в календарные:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

В таблице представлены результаты трудоемкости работ руководителя (Р) и инженера (И), а также длительность в рабочих и календарных днях.

Таблица 9 – Временные показатели проектирования





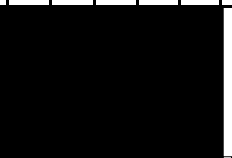



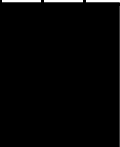



Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{ожi},$ чел-дни					
	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер
Выбор направления исследований	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1,3	1,3
Выбор темы исследования	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1,3	1,3
Изучение литературы по заданной тематике	-	20	-	40	-	28	-	28	-	41
Составление и утверждение технического задания	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1,3	1,3
Календарное планирование работ	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
Подготовка образцов	-	20	-	30	-	24	-	24	-	36
Проведение испытаний на ударную вязкость	-	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	2,7
Исследование микроструктуры	-	4	-	10	-	6,4	-	6,4	-	9,5
Измерение микротвердости	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	6,8
Проведение испытаний на статическое растяжение	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5,6
Анализ результатов	14	14	20	20	16,4	16,4	8,2	8,2	12,1	12,1
Формулировка выводов	4	4	8	8	5,6	5,6	2,8	2,8	4,1	4,1
Составление отчета	-	10	-	15	-	12	-	12	-	17,8
Сдача проекта	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2,1
Итого										144

Диаграмма Ганта (таблица) представляет собой наглядный план-график всех выполненных работ в данном исследовании.

Таблица разбита на столбцы месяц-декада в течение которых выполнена работа. Ячейками разного вида показано время, которое затрачено

на определенный пункт работы и исполнитель. В графике учитываются выходные и праздничные дни.

Таблица 10 - Диаграмма Ганта

№	Вид работы	Исполнители	Т _к	Январь		Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор направления исследования	Гордиенко А.И.	1,3																
		Каширо П.О.																	
2	Выбор темы исследования	Гордиенко А.И.	1,3																
		Каширо П.О.																	
3	Изучение литературы по заданной тематике	Каширо П.О.	41																
4	Составление и утверждение технического задания	Гордиенко А.И.	1,3																
		Каширо П.О.																	
5	Календарное планирование работ	Гордиенко А.И.	2																
6	Подготовка образцов	Каширо П.О.	36																
7	Проведение испытаний на ударную вязкость	Каширо П.О.	2,7																
8	Исследование микроструктуры	Каширо П.О.	9,5																
9	Измерение микротвердости	Каширо П.О.	6,8																

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Показывает количество потраченных денежных средств на материалы и оборудование, используемое для исследования.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
Низкоуглеродистая промышленная сталь Х80	кг	0,01	79000	908,5

Шлифовальная бумага	шт.	3 (P80) 4 (P600) 4 (P1000) 3 (P2500)	24,7 29,45 36,1 36,1	74,1 117,8 144,4 108,3
Полировальное сукно	шт.	2	80	160
Алмазная паста	кг	0,1	3055	305,5
Спирт	л	0,5	170	98
Кислоты для травления	мл	300	0,053	15,9
Медицинские перчатки	шт.	2	24	48
Халат	шт.	1	600	600
Итого				2580,5

4.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: оптический микроскоп марки *Zeiss Axiovert 25*, сканирующий электронный микроскоп Quanta 200 3D с приставкой NORDLYS Oxford Instruments HKL Technology для анализа дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), установка типа Поляни, маятниковый копер INSTRON MPX 450, микротвердомер ПМТ- 3М, компьютер и принтер. Оборудование есть в лаборатории ФМ и НМК.

Стоимость оборудования, имеющегося в научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 13 - Расчет затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п / п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Срок эксплуатации, лет	Срок использования в НТИ, кал.дни	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Оптический микроскоп марки Zeiss Axiovert 25	1	10	6	1150,6	1323,19
2	Установка типа Поляни	1	10	3	2640,151	3036,174
3	Маятниковый копер INSTRON MPX 450	1	10	1	1383,5	1591,025
4	Микротвердомер ПМТ-3М	1	10	7	758	871,7

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (7)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для оптического микроскопа марки Zeiss Axiovert 25, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1 \quad (8)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Оптический микроскоп марки Zeiss Axiovert 25:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 1323190}{12} \cdot 0,2 = 2205 \text{ руб}$$

(9)

Установка типа Поляни:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 303674}{12} \cdot 0,1 = 253 \text{ руб} \quad (10)$$

Маятниковый копер INSTRON MPX 450:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 1591025}{12} \cdot 0,03 = 398 \text{ руб}$$

(11)

Микротвердомер ПМТ- 3М:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 871700}{12} \cdot 0,23 = 1671 \text{ руб}$$

(12)

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A=2205+253+398+1671=4527 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	1, 2, 4, 5, 11, 12	Руководитель (научный сотрудник)	22	1849,6	40691,2
2	1-14	Инженер	142	521,33	74028,86
Итого:					114720,06

Заработная плата исследователей состоит из основной ($Z_{осн}$) и дополнительной ($Z_{доп}$) и рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (13)$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (14)$$

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

Дополнительная заработная плата исполнителей составила 17208,009 руб.

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (15)$$

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

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель проекта	40691,2	6103,7	14038,5
Инженер	74028,9	11104,3	25540
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 0,3			
Итого:			39578,42

4.3.5 Накладные расход

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (2580,5 + 4527 + 114720,1 + 17208 + 39578,5) \cdot 0,16 = 178614,1 \cdot 0,16 = 28578,3 \text{ руб.} \quad (17)$$

Таблица 16 – Расчет затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИР	2580,5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4527
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	114720,1
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17208
5. Отчисления во внебюджетные фонды	39578,5
6. Накладные расходы	28578,3
Бюджет НИР:	207192,4

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (18)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Лазерная сварка	Плазменная сварка	Газовая сварка
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	3
3. Энергосбережение	0,2	4	3	3
4. Надежность	0,2	4	4	3
5. Автоматизация	0,15	5	5	1
ИТОГО	1	4,45	4,2	2,4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (19)$$

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (20)$$

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,1	2,4
3	Интегральный показатель эффективности	0,225	0,239	0,392
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,06	1,74

Список публикаций студента

1. Деревягина Л.С., Гордиенко А.И., Каширо П.О. Модификация структуры стали 09Г2С для улучшения механических свойств и вязкости разрушения при отрицательных температурах // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018 - №4-С. 561-566

2. Деревягина Л.С., Гордиенко А.И., Маликов А.Г., Оришич А.М., Каширо П.О. Особенности микроструктуры и механические свойства лазерного сварного соединения низкоуглеродистой трубной стали //Сварочное производство. – 2019 - №5-С. 14-21