

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 Материаловедение и технологии материалов  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Возможность применения лазерной сварки для низкоуглеродистой промышленной стали X80

УДК 621.791.72:669.141.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б61	Петренко Ольга Евгеньевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Даренская Е.А.	к.т.н., доцент		

Консультант

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

### 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		

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01*

Код результата	<b>Результат обучения</b> (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:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Б61	Петренко Ольга Евгеньевна

Тема работы:

Возможность применения лазерной сварки для низкоуглеродистой промышленной стали X80	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №52–51/с от 21.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Образцы стали категории прочности X80 в состоянии поставки после контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением и после лазерной сварки.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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"> <li>1. Анализ литературы по тематике исследования;</li> <li>2. Структурные исследования стали в состоянии поставки, после лазерной сварки и кислородной резки;</li> <li>3. Оценка микротвердости стали X80 после лазерной сварки и кислородной резки;</li> <li>4. Аттестация механических свойств в условиях статического растяжения и ударного нагружения</li> </ol>

	стали X80 в состоянии поставки и после лазерной сварки.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Оптические изображения микроструктуры стали X80; EBSD – карты; изображения структуры, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии; кривые ударного нагружения; фотографии поверхности разрушения.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Кашук И.В., доцент, ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Черемискина М.С., ассистент, ТПУ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Реферат/abstract	

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

**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	Петренко Ольга Евгеньевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 с., 37 рис., 16 табл., 45 источников, 0 прил.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, структура, свойства, термомеханическая обработка, лазерная сварка, сварной шов, статическое растяжение, ударная вязкость разрушения.

Объектом исследования является стали категории прочности X80 после контролируемой продольной прокатки с окончанием прокатки в  $(\gamma+\alpha)$  – области и последующим ускоренным охлаждением.

Цель работы – изучить микроструктуру промышленной трубной стали категории прочности X80 после термомеханической обработки, а также особенности формирования структур в зоне сварного соединения стали X80 под воздействием лазерной сварки и оценить механические свойства полученных сварных соединений.

В процессе исследования проводились работы по изучению структуры образцов методами оптической (ОМ) и растровой (SEM) микроскопии с помощью микроскопов Zeiss Axiovert 25 и Philips SEM 515, сканирующего электронного микроскопа Quanta 200 3D с приставкой NORDLYS Oxford Instruments HKL Technology для автоматического анализа дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), а также просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) на микроскопе HT-7700. Проведены измерения микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г, испытания на растяжение на установке типа Поляни и на ударную вязкость в диапазоне температур испытания от +20 °С до –70 °С на маятниковом копре INSTRON MPX 450. Сделан анализ всех полученных результатов.

В результате исследования были сделаны выводы, что контролируемая прокатка с ускоренным охлаждением способствовала получению дисперсной, однородной ферритно/бейнитно/трооститной структуры с

высокими значениями механических характеристик в условиях статического растяжения и ударного изгиба в широком диапазоне температур испытаний. После лазерной сварки был получен узкий сварной шов, в зоне сплавления которого сформирована дендритная мартенситная структура, а в зоне термического влияния преобладают ферритно-бейнитные структуры. Полученная структура обеспечивает прочностные и пластические свойства образцов со сварным швом на уровне основного металла, а ударная вязкость KCV, несмотря на снижение  $\approx$  в 2 раза по сравнению с основным материалом, находится на высоком уровне. После кислородной резки, наблюдается снижение микротвердости стали у поверхности заготовки, вызванное обезуглероживанием в результате воздействия высоких температур.

Область применения: результаты работы могут иметь практическое использование в виде технологии создания сварных соединений труб для газо- нефтепроводов.

Значимость работы заключается в изучении новой технологии создания сварных соединений для газо- и нефтепроводов работающих в условиях низких температур.

## **Abstract**

Final qualifying work has 95 pages, 37 figures, 16 tables, 45 source, 0 applications.

Keywords: low carbon steel, structure, properties, thermomechanical processing, laser welding, weld, static tension, impact toughness.

The object of research is steel of strength category X80 after controlled longitudinal rolling with the end of rolling in the  $(\gamma + \alpha)$  region and subsequent accelerated cooling.

The purpose of the work – is to study the microstructure of industrial pipe steel of strength category X80 after thermomechanical processing, as well as the

features of the formation of structures in the weld zone of steel X80 under the influence of laser welding and to evaluate the mechanical properties of the welded joints.

During the study, the structure of the samples was studied by optical (OM) and scanning (SEM) microscopy using Zeiss Axiovert 25 and Philips SEM 515 microscopes, a Quanta 200 3D scanning electron microscope with the NORDLYS Oxford Instruments HKL Technology attachment for automatic analysis of backscattered diffraction Electrons (EBSD), as well as transmission electron microscopy (TEM) using an HT-7700 microscope. The microhardness was measured on a PMT-3 device at a load of 100 g, tensile tests on a Polyany type installation and impact bending in the test temperature range from +20 °C to –70 °C on an INSTRON MPX 450 pendulum copra.

As a result of the study, it was concluded that controlled rolling with accelerated cooling contributed to the production of a ferritic / bainitic / troostite structure with high values of mechanical properties under conditions of static tension and impact bending over a wide temperature range. After laser welding, a weld was obtained with a dendritic martensitic structure in the fusion zone, and ferrite-bainitic structures predominate in the heat affected zone. The resulting weld structure provides strength and plastic properties at the level of the base metal, and the impact strength KCV, despite a decrease of  $\approx 2$  times compared to the base material, is at a high level. After oxygen cutting, steel is softened due to decarburization as a result of exposure to high temperatures.

Application: the results of the work can have practical use in the form of technology for creating welded pipe joints for gas- oil pipelines.

The significance of the work consists in the study of a new technology for creating welded joints in gas and oil pipelines working in difficult climatic conditions.

## Содержание

Введение .....	11
1 Литературный обзор.....	12
1.1 Нефтегазовая промышленность.....	12
1.2 Методы улучшения свойств трубных сталей.....	13
1.2.1 Изменение элементного состава стали.....	13
1.2.2 Применение термической обработки .....	18
1.2.3 Термомеханическая обработка .....	19
1.3 Процесс сварки трубопроводов .....	22
1.3.1 Виды сварки .....	22
1.3.2 Газовая сварка.....	23
1.3.3 Электрошлаковая сварка .....	24
1.3.4 Электродуговая сварка .....	25
1.3.5 Лазерная сварка .....	29
1.4 Исследования структуры и свойств в зоне сварного шва .....	32
2 Материал и методы исследования.....	35
3 Результаты .....	40
3.1 Исследование структуры и свойств стали X80 после контролируемой прокатки.....	40
3.2 Исследование влияния кислородной резки на изменение структуры и твердости стали .....	47
3.3 Исследование влияния лазерной сварки .....	50
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	59
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	59
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	59



4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	60
4.1.3 SWOT– анализ .....	61
4.2. Планирование научно–исследовательских работ .....	62
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	62
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	63
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	67
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	67
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	69
4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	70
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	71
4.3.5 Накладные расходы .....	72
4.3.6 Бюджетная стоимость .....	72
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	73
5 Социальная ответственность .....	78
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	79
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	79
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	80
5.2 Производственная безопасность .....	80
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....	82

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	83
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	85
5.3 Экологическая безопасность.....	86
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	87
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду ...	87
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	88
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	88
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	88
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	89
5.5 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	91
Заключение .....	93
Список литературы .....	95

## **Введение**

Низкоуглеродистые малолегированные стали с высокой прочностью и низкотемпературной вязкостью разрабатываются давно и широко используются в разнообразных сферах, таких как кораблестроение, строительство зданий и морских сооружений. Одна из основных сфер применения низкоуглеродистых сталей – в качестве материала для трубопроводов. В связи с растущими требованиями производителя, повышаются требования к качеству и свойствам сталей. Для достижения необходимого комплекса свойств используют не только изменение химического состава, но и совершенствование обработок сталей. Изучение структур после различных термомеханических обработок является первостепенной задачей, позволяющей выявить ключевые факторы, обеспечивающие требуемый комплекс свойств стали.

Не менее важным вопросом при постройке трубопроводов является получение качественных сварных швов. Среди многочисленных способов реализации сварочного процесса использование высококонцентрированных потоков энергии лазерного излучения в настоящее время является одним из перспективных направлений развития технологий получения неразъемных соединений. Из-за высокой концентрации энергии лазерного пучка на небольшой площади нагрева, удается получать тонкие швы и соединять заготовки больших толщин. Благодаря высоким скоростям лазерной сварки значительно увеличивается ее производительность по сравнению с традиционными методами сварки. Однако детальные исследования структур околошовной зоны трубных сталей после лазерной сварки и сведения об их связи с механическими свойствами в литературе ограничены.

В связи с этим, цель работы – изучить микроструктуру промышленной трубной стали категории прочности X80 после термомеханической обработки, а также особенности формирования структур в зоне сварного соединения стали X80 под воздействием лазерной сварки и оценить механические свойства полученных сварных соединений.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Нефтегазовая промышленность

Промышленность любой страны, а также практически все известные сферы жизнедеятельности нашего общества для своего функционирования нуждаются в обеспечении энергией, которую предоставляют топливные ресурсы планеты. Известны различные виды топлива, но наиболее важную роль в топливно-энергетическом комплексе играет нефтегазовая отрасль.

Нефтегазовая отрасль – это обобщенное название комплекса промышленных предприятий по добыче, транспортировке, переработке и распределению конечных продуктов переработки нефти и газа [1].

Нефтегазовая отрасль состоит из нескольких основных структурных процессов:

- добыча углеводородов – сложный процесс, который включает в себя разведку месторождений, бурение скважин, непосредственно саму добычу углеводородов и их первичную очистку от воды, серы и других примесей.
- транспортировка нефти и газа от мест добычи на перерабатывающие предприятия и конечному потребителю. Это осуществляется при помощи различного вида транспорта: трубопроводного, водного, автомобильного и железнодорожного. Трубопроводы являются наиболее экономичным способом транспортирования углеводородов. По трубопроводу нефть и газ можно перемещать на большие расстояния и на разные континенты.
- переработка сырых углеводородных энергоносителей. Данный процесс производится с целью получения различных видов нефтепродуктов. Прежде всего, это разные виды топлива и сырье для последующей химической переработки.

С развитием технологий и науки решаются важные технологические вопросы. Например, рациональная транспортировка и сбережение ресурсов,

рациональное потребление имеющихся запасов ископаемых, усовершенствование процессов трубопроводного строительства. Активно идет разработка новых сталей и усовершенствования процессов их обработки с целью повышения экономичности процесса производства труб и обеспечения безопасности их эксплуатации в агрессивных средах на длительный срок.

Согласно с требованиями стандартов, предъявляемыми к материалу для трубопровода, прокат из низколегированной стали трубного сортамента должен обладать повышенной хладостойкостью в совокупности с высокими значениями прочности, пластичности, ударной вязкости и хорошей свариваемостью. При этом стоит отметить, что доминирующим фактором для повышенной прочности, пластичности и вязкости разрушения (т. е. отсутствия хрупкого разрушения) является структурное состояние материала.

## **1.2 Методы улучшения свойств трубных сталей**

### **1.2.1 Изменение элементного состава стали**

Первым этапом в разработке материалов для трубопроводов является усовершенствование элементного состава сталей.

Основным элементом, содержание которого определяет свойства стали, является углерод. Для изменения процентного содержания углерода, в сталь еще в расплавленном состоянии добавляют руду. Что довольно часто используют на производстве при выплавке деталей из нужной марки стали.

С увеличением содержания углерода в стали возрастает количество фаз, имеющих более высокую твердость, прочность, но при этом и хрупкость (например, цементит). Твердость цементита превышает твердость феррита примерно в шесть раз (951 HV и 157 HV соответственно). Следовательно, с ростом содержания углерода изменяются механические свойства: возрастает

твердость, предел прочности, текучести, уменьшается относительное удлинение, относительное сужение и ударная вязкость, пластичность.

И, наоборот, при снижении процентного содержания углерода повышается относительное удлинение  $\delta$ , ударная вязкость, понижается предел прочности  $\sigma_B$ , твердость HB (HV). Наглядно взаимосвязь свойств от содержания углерода можно наблюдать на графике, приведенном на рисунке 1. Можно заметить, что твердость имеет линейный характер изменения, а остальные свойства имеют гиперболический характер изменения, помимо предела прочности, который после достижения и превышения значения содержания углерода 0,85 процента начинает резко снижаться.

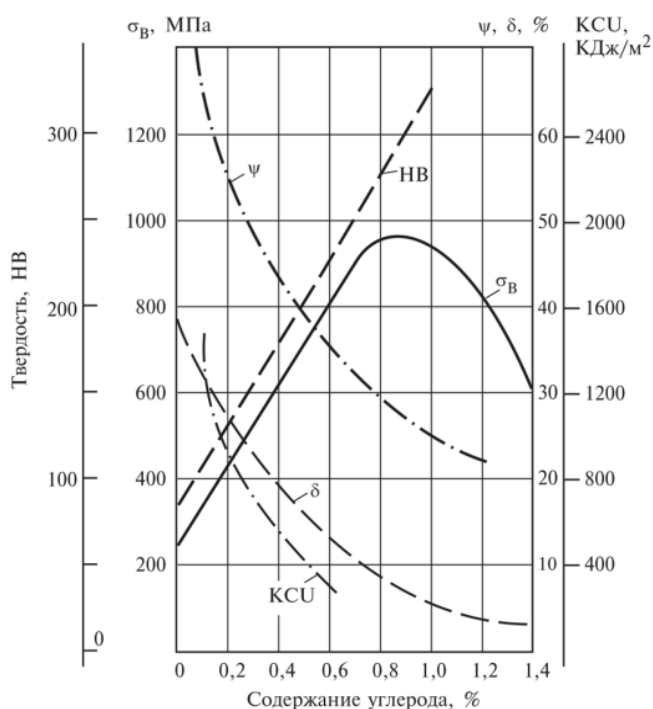


Рисунок 1 – Влияние углерода на механические свойства стали

Свойства низкоуглеродистой стали могут существенно меняться при добавлении в сталь различных легирующих элементов [2]. К тому же, свойства легированной стали меняются не только от самого содержания легирующих элементов, но их взаимодействия между собой.

Если рассматривать конкретно углерод, то по взаимодействию с ним легирующие элементы можно условно разделить на две большие группы:

- элементы, которые формируют с углеродом химическое соединение (карбид) – молибден, хром, ванадий, вольфрам, марганец. Данную группу называют карбидообразующими элементами. Стали, в состав которых входят карбидообразующие элементы, обладают высокой твёрдостью и повышенным сопротивлением износу.

- элементы, не создающие карбидов – кремний, алюминий, никель.

Основными легирующими элементами в трубной стали являются [3]:

- марганец обеспечивает увеличение твердости, износостойкости при сохранении оптимальной пластичности. Но при этом концентрация этого элемента должна быть более одного процента.

- кремний широко используют при выплавке стали как раскислитель. Если в стали содержится небольшое количество кремния, то он не оказывает особого влияния на ее свойства. Но при содержании кремния менее 0,3 процента кремний полностью растворяется в феррите, что повышает прочность, почти не снижая пластичность. Легирование кремнием термически упрочняемые стали повышает способность сталей к термическому упрочнению и их износостойкость, увеличивает предел упругости и предел текучести.

- ниобий оказывает влияние на измельчение зерна аустенита и феррита при нагреве под термическую обработку и прокатку. Причем при термомеханической обработке можно достигнуть настолько сильного измельчения зерна, которое нельзя получить при любом процессе термической обработки, за счет торможения рекристаллизации зерен аустенита.

- хром влияет на коррозионную стойкость.

- ванадий же оказывает слабое влияние на рост зерна, поэтому ванадий целесообразно использовать только в комплексе с другими микродобавками для дисперсионного упрочнения. Эффект упрочнения при

введении 0,01 процента ниобия примерно в два раза выше, чем ванадия. Упрочнение при микролегировании ниобием сопровождается повышением хладостойкости стали, чего не наблюдается при введении в сталь ванадия.

- никель позволяет получить превосходную прокаливаемость и прочность стали, повысить пластичность и ударопрочность и понизить предел хладноломкости.

- титан позволяет получить оптимальные показатели прочности и пластичности, а также улучшить коррозионную стойкость.

- медь обеспечивает максимальные антикоррозионные свойства.

- вольфрам обеспечивает сталь высокой твёрдостью и красностойкостью.

- кобальт вводят для увеличения жаропрочности, магнитных свойств и сопротивления значительным ударным нагрузкам

- магний значительно повышает механические свойства стали.

- молибден добавляют для увеличения предела текучести, предела прочности при растяжении и стойкости к коррозии.

К нежелательным добавкам, которые негативно влияют на качество стали, можно отнести мышьяк, олово и сурьму, помимо известных вредных добавок в виде серы и фосфора. Их появление в сплаве всегда приводит к тому, что сталь становится очень хрупкой вследствие охрупчивания на границах зерен.

В работе [4] было показано, что комплексное микролегирование Nb, V и Ti обеспечивает измельчение зерна, дисперсионное упрочнение, торможение рекристаллизации аустенита. А содержание твердорастворных элементов, таких как Ni, Cr и Cu в количестве не более 0,3 процента, стимулируют образование бейнитной структуры вместо части перлита при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении аустенита. Такое структурное изменение приводит к повышенному значению хладостойкости, прочности и пластичности, за счет образования более высокодисперсной структуры, а также смеси пресыщенного углеродом феррита и карбида железа – бейнита. В работе



отмечается, что более высокие значения вязкости наблюдаются у нижнего бейнита, по сравнению с верхним бейнитом. Было отмечено, что комплекс свойств, удовлетворяющих требованиям к металлопрокату трубной стали, достигается при соотношении 70 – 80 процентов полигонального феррита и 20 – 30 процентов бейнита в структуре

Авторы работы [5] обнаружили, что максимальный уровень хладостойкости достигается при повышенном легировании ниобием (Nb), но при этом снижается его прочность. Добавление титана в ниобий содержащую сталь приводит к снижению прочности, но повышению вязкости, пластичности и хладостойкости. Повышение хладостойкости связано с образованием комплексных частиц карбонитридов титана и ниобия, которые сдерживают рост зерна при высоких температурах, а при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении могут служить центрами зарождения феррита, в результате чего происходит измельчение зерна. Уменьшение прочности происходит за счет снижения содержания азота (N) в твердом растворе и выделения карбонитридов.

Таким образом, при определенном микролегировании низкоуглеродистой стали можно улучшить свойства производимого металлопроката. Более высокого комплекса свойств прочности, пластичности и хладостойкости можно добиться при сочетании с термомеханической обработкой [4, 6], что связано с дополнительными условиями для измельчения зерна и образования ферритно-бейнитной структуры. При этом было показано [6], что повышение содержания Ni понижает температуру фазового превращения, что способствует образованию гранулярного и речного бейнита, которые имеют хорошие значения прочности, пластичности и ударной вязкости.

## 1.2.2 Применение термической обработки

Следующим способом, позволяющим улучшать свойства сталей, является термическая обработка – термическое воздействие на материал для придания нужного комплекса свойств [7].

Основными видами термической обработки являются закалка, отжиг и отпуск.

Закалка – это нагрев стали до определенной температуры, выдержка при этой температуре и быстрое охлаждение в закалочной среде. Охлаждающими средами при закалке могут служить вода, масло, растворы соли и т.д. В результате закалки из аустенита образуется неустойчивая мартенситная структура, при которой сталь становится более твердой, упругой, прочной и износостойкой.

Отжиг – операция по устранению дефектов структуры, полученных в процессе литья,ковки и других технологических операций, а также по понижению твердости. Отжиг представляет собой нагрев и медленное охлаждение детали вместе с печью или на воздухе. Посредством отжига можно получить мелкозернистую структуру стали, устранить неоднородность ее химического состава и уменьшить внутренние напряжения. Сталь после отжига обычно имеет умеренную прочность, низкую твердость и высокие пластические свойства.

Отпуск – это нагрев закаленной стали до температуры ниже 727 °С, выдержка и последующее быстрое или медленное охлаждение. Назначение этой операции – уменьшить твердость, увеличить пластичность и вязкость стали.

Для достижения необходимого уровня хладостойкости трубной стали предлагаются различные методы термической обработки стали. Так, в работе [8] было проведено экспериментальное сравнение разных режимов закалки низкоуглеродистой стали. Было показано, что ударная вязкость при температуре –50 °С возрастает по мере повышения температуры закалки и

достигает максимальных значений при небольшом превышении критической точки  $A_{c3}$ . В то же время закалка из середины межкритического интервала и высокий отпуск напротив показали низкие значения ударной вязкости. Длительность аустенитизации и длительности отпуска в не оказали влияние на изменение структуры и ударной вязкости. Хотя авторы отмечают, что наличие крупных зерен в структуре препятствует получению высоких значений хладостойкости.

### 1.2.3 Термомеханическая обработка

Для улучшения свойств сталей используют термомеханическую обработку (ТМО), которая сочетает в себе операции нагрева и пластической деформации. Исследователи работ [9, 10] отмечают, что при проведении ТМО можно добиться большего улучшения механических свойств, чем при проведении одной или комплекса термических обработок.

Вопросы изменения структуры и свойств после применения ТМО рассматривались многими исследователями [9 – 15].

Авторы статьи [11], выделяют 4 возможных режима прокатки:

1. высокотемпературная прокатка в области рекристаллизации аустенита (в  $\gamma$  – области);
2. прокатка при температурах выше  $A_{r3}$ , но ниже температуры рекристаллизации аустенита;
3. прокатка в межкритическом интервале температур, лежащих между  $A_{r3}$ , и  $A_{r1}$ , когда наряду с деформацией аустенита могут протекать образование и рекристаллизация феррита;
4. прокатка при температурах ближе к точке  $A_{r1}$ , когда происходит наклеп образовавшегося феррита и отсутствует рекристаллизация.

При термомеханической обработке стали деформация происходит в аустенитном состоянии, однако субзеренная структура, образовавшаяся при

горячей деформации в аустените, в дальнейшем наследуется  $\alpha$  – фазой при бейнитном  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении [11].

Авторы работы [10] показали, что после ТМО при ускоренном охлаждении за счет измельчения структуры и выделения субструктуры, которая наследуется при  $(\gamma - \alpha)$  – превращении, повышается твердость стали. Однако, при проведении дополнительного высокого отпуска после ТМО в структуре выделяются мелкодисперсные зерна карбидной фазы из пересыщенного твердого раствора, что привело к большему повышению твердости.

В работе [9] было представлено сравнение механических характеристик и структуры листового проката после нескольких режимов обработки: закалка с прокатного нагрева (ЗПН), ЗПН + отпуск и двухстадийная ТМО. В результате было показано, что ЗПН не обеспечивает достаточно комплекса механических свойств: пластичности, прочности и ударной вязкости разрушения. Что связано с формированием весьма крупнозернистой структуры мартенсита. Отпуск смог повысить ударную вязкость, но значения прочности ниже требуемого. ТМО обеспечила высокие значения ударной вязкости, прочности и пластичности за счет образования дислокационной высокодисперсной бейнитной структуры с мелкодисперсными частицами цементита.

Авторы работ [11] показали, что изменение технологических параметров ТМО является основным фактором, влияющим на свойства стали, за счет текстурных и фазовых превращений при проведении ТМО. Так, например, при повышении температуры окончания прокатки (выше  $A_{\gamma_3}$  на 18 – 42 °С) повышается ударная вязкость разрушения, за счет образования многокомпонентной текстуры при трансформации аустенита. Но если температура была близка к значению  $A_{\gamma_3}$  (больше на 4 – 6 °С), то наблюдается снижение значений ударной вязкости.

В работах [11, 12] было обнаружено, что на повышение ударной вязкости после ТМО оказывает влияние специфичное явление образования

слоистой структуры. Данная структура служит причиной образования трещин расслоения. Одни авторы [11] объясняют повышения вязкости разрушения увеличением количества энергии, необходимой для разрушения, за счет увеличения поверхности разрушения при образования расслоений. Другие [12] отмечают, что на увеличение ударной вязкости в большей степени влияет пластическая деформация, нежели увеличение площади разрушения.

Авторы работы [13] определили ферритно-бейнитную структуру, как структуру обеспечивающую наиболее высокие значения ударной вязкости и хладостойкости стали. Добавки легирующих элементов способствуют формированию данной структуры при ТМО и ускоренном охлаждении. Изменяя содержание Cr, Ni и Cu (0,2 – 0,4 процента) можно добиться торможения перлитного превращения при замедленном охлаждении и получить бейнитную структуру. Nb способствует формированию дисперсной структуры за счет ограничения роста зерна аустенита при нагреве под прокатку, повышения температуры торможения рекристаллизации аустенита, расширения области формирования бейнита при малых скоростях охлаждения.

В работе [15] исследовали разные варианты режимов прокатки: горячей прокатки (ГП), нормализационной прокатки (НП) и горячей прокатки с последующей нормализацией (Н) для листового проката разной толщины и их влияние на формирование структуры и свойств стали. Было установлено, что после ГП наблюдается наибольший размер зерна и большая разноструктурность структуры, что привело к самым низким значениям ударной вязкости разрушения, но высоким значениям прочности. Проведение НП или Н повышает хладостойкость, но при этом снижается прочность. Автор выделяет ванадий, как наиболее эффективный легирующий элемент для повышения эксплуатационных свойств и сопротивления горячему растрескиванию. При этом наличие в составе ванадия способствовало повышению прочностных свойств у стали после ГП.

Добавление азота способствует формированию карбонитридов, которые эффективно упрочняют сталь по механизму дисперсионного твердения и в аустените являются центрами для зарождения феррита, приводя к измельчению зерна.

Таким образом, выбор режимов прокатки процесса должен быть строго отрегулированным [6, 11, 14, 15]. Подбор неправильного температурного режима обработки, времени выдержки, условий охлаждения, и других параметров при промышленном производстве металлопродукции может привести к отрицательным результатам.

### **1.3 Процесс сварки трубопроводов**

При постройке нефтегазового трубопровода приходится требуется создавать конструкции из труб сложной конфигурации и больших размеров. Сварка – самый известный, отработанный и надежный метод скрепления труб, что делает ее важным этапом производства трубопровода. А сварные соединения являются неотъемлемой частью большинства конструкций в разных отраслях.

#### **1.3.1 Виды сварки**

В настоящее время используется большое множество различных способов сварки. И у каждого вида есть свои достоинства и недостатки. Из комплексного учета последних складывается решение об их применении в разных отраслях. Для получения сварных соединений используют разные виды сварки [16]:

- газовая;
- электрошлаковая;

- электродуговая, которая разделяется на ручную с использованием плавящихся электродов и под слоем флюса, а также полуавтоматическую в среде защитных газов;
- лазерная.

Рассмотрим подробнее основные виды сварки.

### 1.3.2 Газовая сварка

В основе процесса газовой сварки (газопламенной) лежит использование горючего газа (кислород, ацетилен, бутан и т. д.) для создания пламени, расплавляющего металл, после чего добавляют присадочный материал в рабочую зону (рисунок 2, а). Пламя играет ведущую роль процесса, так как оно определяет возможность расплавления различных металлов. Пламя состоит из трех зон (рисунок 2, б): ядра (где распадается ацетилен), восстановительной зоны (в которой окисляется углерод и водород) и факела (область полного сгорания газов) [17].

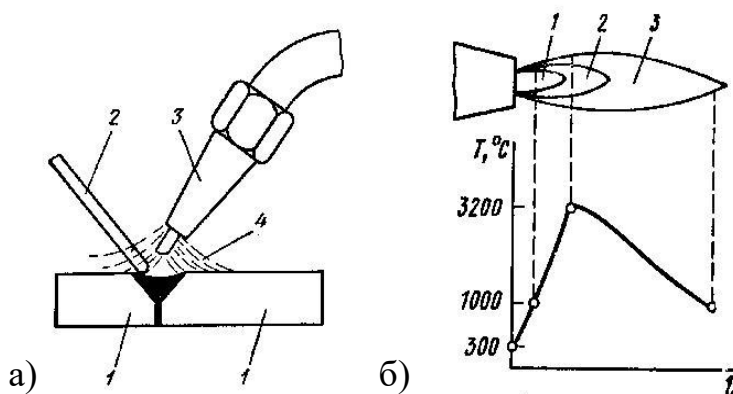


Рисунок 2 – Газовая сварка: а) схема процесса: 1 – заготовка, 2 – присадочный материал, 3 – горелка, 4 – сварочное пламя; б) газосварочное пламя: 1 – ядро, 2 – сварочная зона, 3 – факел

Газовую сварку удобно применять на участках, где нету доступа к электричеству, что необходимо для множества других сварок (электродуговая). Однако, газовая сварка не может обеспечить быстрый нагрев металла, что снижает производительность и соответственно делает данный вид сварки более удобным для обработки тонких изделий.

### 1.3.3 Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка представляет собой сварку плавлением. Электрод опускают в шлаковую ванну, которая защищает шов от воздействия кислорода (рисунок 3). Через электрод пропускают электрический ток, тем самым образуя тепло в ванне, шлак плавится [18]. При этом дуга между образцом и электродом не образуется. В основном данный метод сварки используют при вертикальной сварке или небольшим углом, что ограничивает область применения.

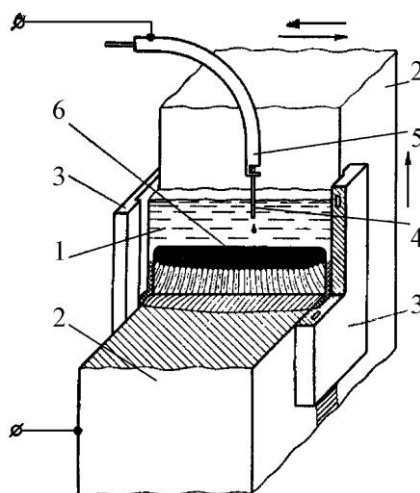


Рисунок 3 – Схема электрошлаковой сварки: 1 – шлак, 2 – заготовки, 3 – водоохлаждающие ползуны, 4 – сварочная проволока (электрод), 5 – мундштук, 6 – сварочная ванна



У данного метода повышенная производительность по сравнению с газовой и экономичность по сравнению с дуговой (расход электроэнергии и шлака пониженный). Но есть вероятность перегрева металла, что снижает пластические свойства металла, поэтому рекомендуется проведение последующей термической обработки.

### **1.3.4 Электродуговая сварка**

Электродуговая сварка (дуговая) – самая известная и распространенная технология сварки, которая используется для обработки различных изделий. Технология заключается в нагреве металла воздействием электрической дуги, возникающая между концом электрода и заготовками при протекании тока. В зоне действия дуги образуется область жидкого расплава, в которой перемешивается металл обеих заготовок, образуя сварочную ванну. При охлаждении на месте сварочной ванны образуется сварочный шов. Металлический электрод стержень покрывают специальным составом, или флюсом. При нагревании он расплавляется, выделяя инертный газ, образующий защитное облачко над рабочей зоной и препятствующий окислению расплава.

Режим дуговой сварки, а также скорость охлаждения оказывает влияние на формирование структуры металла в участке около шва, низкая себестоимость обусловила широкое применение при монтаже и производстве трубопроводов [19].

Технологии дуговой сварки связаны с введением большого количества тепла и высокой погонной энергии, что приводит к нагреву металла в зоне термического влияния (ЗТВ). Швы занимают большой объём металла, который по составу может отличаться от основного. Изменения происходят как в зоне сплавления, так и в зоне термического влияния (ЗТВ). Известно,

что в ЗТВ сварного соединения после ручной дуговой сварки выделяют шесть зон (рисунок 4) [20]:

1. неполного расплава. Эта зона является переходной от расплава к кристаллической фазе аустенита. При температуре 1500 °С начинается образование крупных зерен аустенита.

2. перегрева. В сплаве образуются крупные зерна, характерные для закалочного процесса. Ударная вязкость и пластичность стали при такой структуре снижены.

3. нормализации или перекристаллизации. Образуются вторичные мелкие зерна (ферритовая фаза), физические свойства сплава близки к начальным.

4. неполной перекристаллизации. Мелкие зерна чередуются с перлитными пластинками. Физические свойства хуже, чем на третьем участке.

5. рекристаллизации. Структура, характерная для нагартованного металла.

6. старения, переход к основному металлу. Прочность стали повышается, пластичность снижается.

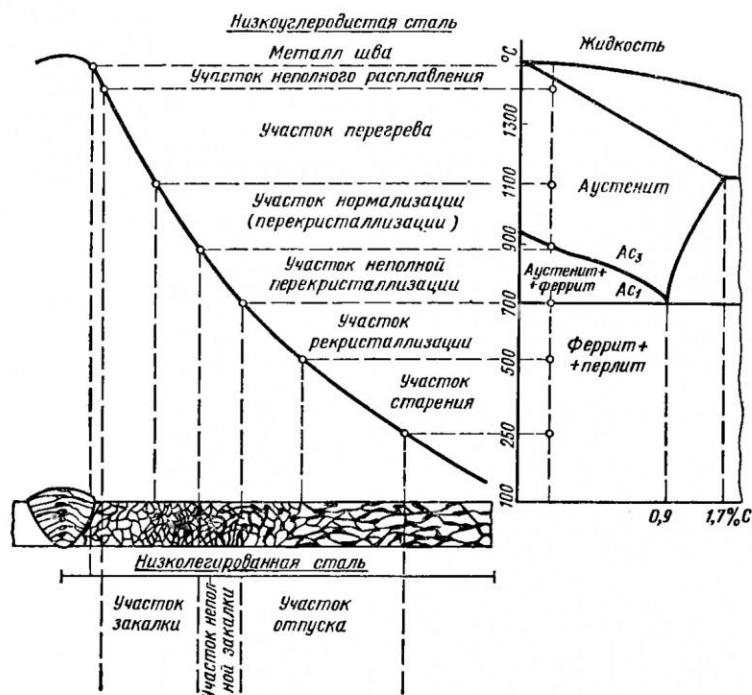


Рисунок 4 – Строение сварного соединения после ручной дуговой сварки

Среди дуговых методов сварки распространены ручная дуговая, в среде защитных газов и под слоем флюса.

Ручная дуговая сварка (РДС) – самый популярный способ соединения деталей, как в промышленности, так и в быту. Элементами оборудования для ручной сварки, как правило, являются: держатель электрода, источник питания, электрод (рисунок 5) [21].

Сам плавящийся электрод состоит из металлического стержня и обмазки. Стержень является не только проводником электричества, но и тем элементом, благодаря которому формируется сварочный шов. Причем, сам электрод расплавляется в дуге и смешивается с расплавленным металлом заготовок, что влияет на химический состав и свойства шва.

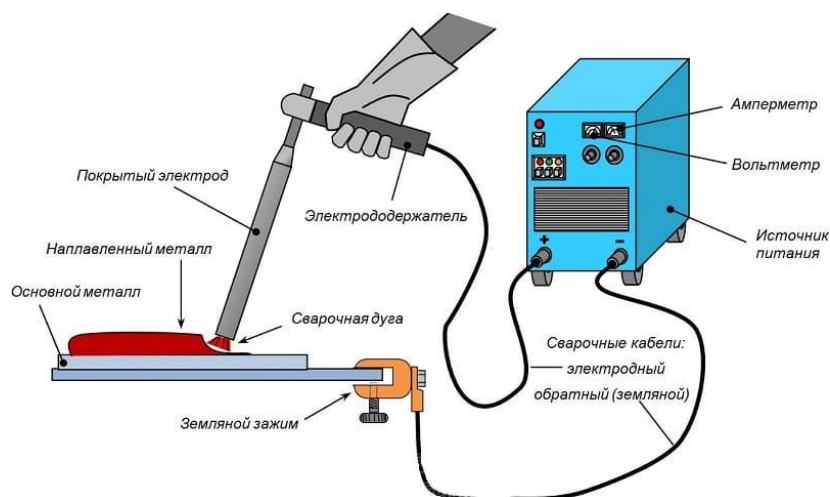


Рисунок 5 – Схема ручной дуговой сварки

При сварке под флюсом плавление и соединение металлов труб происходит при воздействии тепла дуги на изделие, находящегося под слоем гранулированного металла - флюса [19].

При воздействии высокой температуры гранулы и электрод начинают плавиться. В итоге вокруг сварочной ванны образуется пленка, которая защищает расплавленный металл и дугу от проникновения воздуха и неблагоприятного воздействия кислорода (рисунок 6).

Данный способ относится к автоматическому – электрод подается постоянно в рабочую зону сварки автоматом, что повышает производительность процесса.

В отличие от электрошлаковой в процессе сварки образуется дуга.

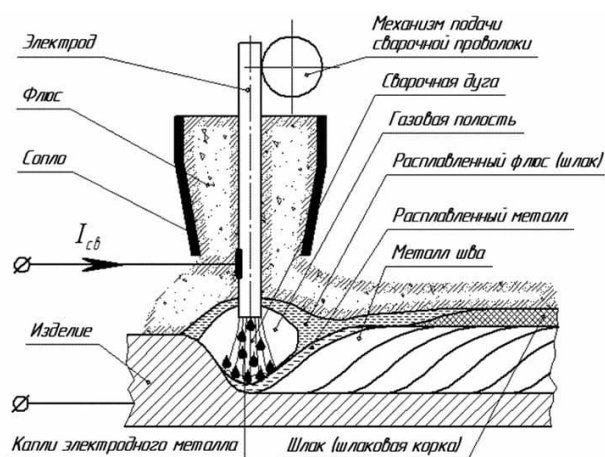


Рисунок 6 – Схема дуговой сварки под флюсом

Процесс ручной дуговой сварки в среде защитных газов происходит с непрерывной подачей защитного газа в зону плавления через газовое сопло (рисунок 7). В качестве защитного газа в основном используют аргон, который, вылетая из сопла горелки, надежно защищает электрод, дугу, рабочую и околошовную зоны от негативного воздействия внешних факторов [19]. Данный способ относится к ручному, так как электрод закрепляется в токопроводящем устройстве специальной горелки.

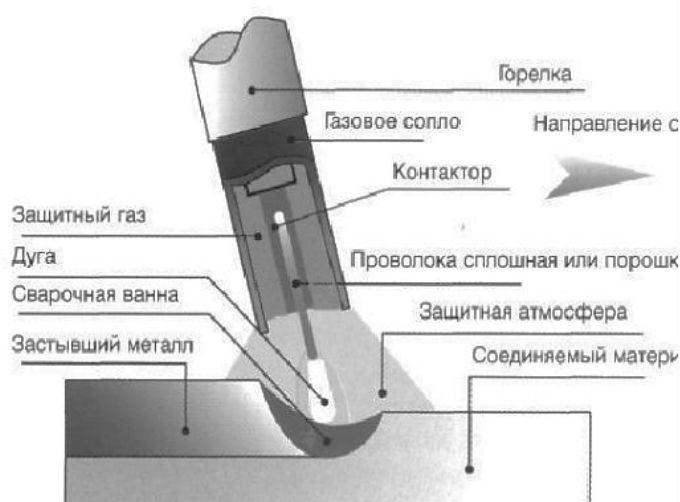


Рисунок 7 – Схема ручной дуговой сварки в среде защитных газов

### 1.3.5 Лазерная сварка

Необходимость выполнения большого количества проходов при дуговой сварке для заполнения разделки снижает производительность, что может быть решено с помощью лазерного излучения [22].

Лазерная сварка — это один из видов сварки плавлением с нагревом рабочей зоны энергией лазерного излучения, обеспечивающего большую концентрацию энергии. Она относится к термическому классу сварочных технологий и входит в одну группу с плазменной, дуговой и электронно-

лучевой сварками [23]. При попадании на поверхность материала сконцентрированного лазерного излучения металл нагревается с высокой скоростью значительно превышающей скорость отвода теплоты за счет теплопроводности материала, что приводит к локальному плавлению и испарению материала (рисунок 8) [22].

Лазерная сварка обладает рядом преимуществ перед другими методами сварки: обработка крупногабаритных изделий и труднодоступных мест, высокая технологичность и стабильность формирования сварного шва, повышенная производительность. Однако есть недостатки: высокие скорости нагрева и охлаждения нередко приводят к хрупкости полученных сварных соединений, к недостаткам можно также отнести высокую стоимость оборудования. Это ограничивает области применения лазерной сварки [22].

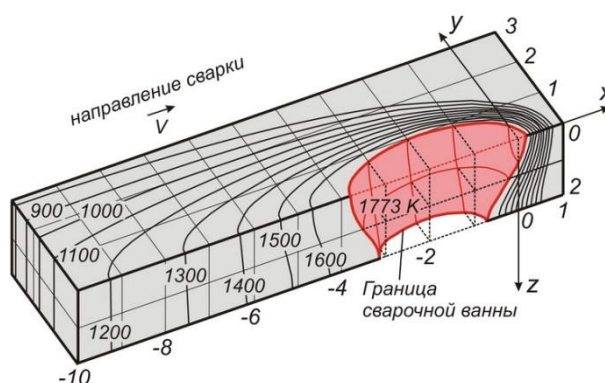


Рисунок 8 – Температурное поле при лазерной сварке

В работе [24] рассматривается процесс лазерной сварки и ее влияние на формирование структуры стали. Лазерная сварка сопровождается двумя процессами: первый связан с образованием газового канала, окруженного жидким металлом (обеспечивается эффект глубокого проплавления), второй происходит за счет теплопроводности свариваемого материала (поверхностное плавление) (рисунок 9). А режим сварки определяет, какой процесс преимущественно произойдет и форму сварочной ванны.

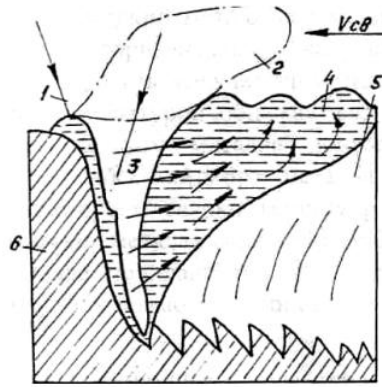


Рисунок 9 – Схема формирования сварного соединения при лазерной сварке с глубоким проплавлением: 1 – лазерное излучение, 2 – плазменный факел, 3 – парогазовый канал, 4 – хвостовая часть сварочной ванны, 5 – закристаллизовавшийся металл шва, 6 – свариваемый металл

Основными характеристиками лазерной сварки являются плотность мощности лазерного излучения и длительность действия сварки, а также скорость сварки. От варьирования этих параметров зависит, какой материал и какой толщины можно обрабатывать, чтобы обеспечить формирование хорошего шва.

Макро- и микроструктура материала после сварки бывает первичной и вторичной. В первом случае структура образуется во время процесса кристаллизации расплава в сварочной ванне, а во втором – в результате фазовых превращений при охлаждении [24].

Высокая скорость нагрева и охлаждения при воздействии лазерного луча при сварке оказывает влияние на формирование структуры материала. При охлаждении большой скоростью происходит процесс  $(\alpha \rightarrow \gamma)$  – превращения по бездиффузионному механизму – из аустенита формируются бейнитно-мартенситные структуры [22].

## 1.4 Исследования структуры и свойств в зоне сварного шва

Структурно-фазовое состояние металла, формирующееся в процессе сварки, влияет на физико-механические характеристики изделий. Многие исследователи рассматривали и изучали влияние режимов и параметров сварки, химического состава на структуру и свойства стали [19, 22, 25 – 31].

В сварном соединении выделяют зону сплавления (ЗС) и зоны термического влияния (ЗТВ). Их структура, химический состав и соответственно свойства отличаются между собой и основным металлом. ЗТВ выделяют как опасный участок сварного соединения за счет особенности кинетики распада аустенита в этой зоне при различных температурах нагрева, а также из практики эксплуатации и проведенных опытов. Различия свойств в различных участках ЗТВ объясняются нагревом этих областей до разных температур и разной скоростью охлаждения. Повышение скорости охлаждения влияет на уменьшение количества ферритной составляющей в структуре металла и формирование преимущественно бейнитно-мартенситных структур [25].

В работе [26] было показано, что независимо от метода сварки составляющими структуры сварного шва стали 09Г2С являются пластинчатый перлит, феррит и мартенсит, бейнит, а их объемная доля зависит от метода сварки.

Авторы работы [27] при исследовании зон сварного соединения после лазерной сварки, отмечали, что речный бейнит является наиболее благоприятной структурой для обеспечения вязких свойств в ЗТВ. А формирование гранулярного бейнита и мартенситно-аустенитной составляющей в структуре сварных соединений понижает вязкие свойства ЗТВ. В работе [28] авторы показали для получения высокой ударной вязкости сварного соединения необходимо формирование гомогенной бейнитной структуры.



На формирование бейнитной структуры в сварном шве оказывает влияние химический состав стали [28, 29]. Содержание углерода в стали (ниже 0,08 процента), а также легирование никелем, молибденом, титаном и бором, позволяют получить однородную бейнитную структуру [28]. А водород, диффундирующий из наплавленного металла может вызвать резкое охрупчивание, но при понижении содержания углерода, сопротивляемость хрупкому разрушению увеличивается. А увеличение скорости охлаждения (выше 13,5 °C/с) способствует формированию нижнего бейнита и мартенсита с повышенным значением твердости и сопротивления распространению трещин. При пониженных значениях скоростей охлаждения в структуре формируется верхний бейнит (шесть °C/с). При этом снижаются значения твердости и сопротивляемость хрупкому разрушению [29].

Исследователи проводили сравнение разных видов сварок и их влияние на формирование структуры и свойств в работах [22, 30, 31].

Авторами работ [22, 30, 31] было показано, что после лазерной и дуговой сварки структура сварного шва является одним из ключевых факторов, который влияет на ударную вязкость, твердость и текучесть. Так, показано, что после лазерной и дуговой сварки наблюдалось повышение дисперсности зерен при переходе от ЗС к ЗТВ. При этом в шве и ЗТВ после лазерной сварки формируется ферритно-бейнитная структура, с небольшим количеством феррита. После дуговой сварки сформировалась преимущественно структура феррита и ферритно-карбидной смеси. Твердость в поперечном сечении во всех зонах после лазерной сварки в среднем 240 – 280 HV. Это превышает значения твердости основного металла на 12 – 20 процентов за счет формирования бейнитной структуры в ЗТВ [22], но входит в нормативные значения.

В работах [30, 31] после дуговой, лазерной и гибридной лазерно-дуговой сваркой образовывались преимущественно ферритно-бейнитные структуры с зернами сорбита. Твердость в сварном шве после лазерной сварки выше, по сравнению с дуговой сваркой. Тогда как, ударная вязкость у

образцов после проведения лазерной сварки ниже, чем после дуговой. Это связано с более напряженной структурой в связи с высокой скоростью кристаллизации металла в сварочной ванне после лазерной сварки.

При сравнении структур сварных швов стали после дуговой и лазерной и сварок, авторы работ [19, 22] отмечали, что для сварного шва после дуговой сварки характерна более неоднородная структура, чем после лазерной сварки. Структурная неоднородность, характерная для многослойных сварных соединений, обусловлена явлением автотермообработки, когда каждый следующий накладываемый слой «термообрабатывает» предыдущие. Установлено, что при наложении слоёв в процессе лазерной сварки во всех пространственных положениях, каждый последующий слой не приводит к существенному перегреву металла шва и зоны термического влияния предыдущего

Анализ литературы показал, что работы, посвященные исследованию структуры и свойств сварных швов современных трубных сталей повышенного класса прочности, полученных методами лазерной сварки ограничены. Поскольку не все возможности применимости этого метода исследованы, представляет большой научный и практический интерес проведение исследований влияния лазерной сварки на формирование структуры и свойств сварных соединений.

## 2 Материал и методы исследования

Для исследований была использована низкоуглеродистая сталь категории прочности X80. Ее состав приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав стали категории прочности X80

Элемент	C	Mn	Si	Cr	Ni	V
Масс. доля, %	0,055	1,59	0,073	0,025	0,187	0,005
Элемент	Ti	Nb	Cu	S	P	N
Масс. доля, %	0,019	0,047	0,12	0,0043	0,0062	0,003

В данной работе исследуемые заготовки трубной стали были поставлены после контролируемой продольной прокатки с окончанием прокатки в  $(\gamma+\alpha)$  – области и последующим ускоренным охлаждением. Ускоренное охлаждение проводили до температур бейнитного превращения с выдержкой для протекания бейнитного превращения. Дальнейшее охлаждение проводили на воздухе.

Лазерная сварка пластин осуществлялась на автоматизированном лазерном технологическом комплексе «Сибирь-1», включающем непрерывный CO<sub>2</sub>-лазер с мощностью до восьми кВт, разработанный в ИТПМ СО РАН. Характеристики генерируемого излучения следующие: длина волны излучения  $\lambda = 10,6$  мкм; максимальная мощность излучения до восьми 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  $\Delta f$  относительно верхней границы

листа. Сварные соединения получали за один проход при заглаблении фокуса внутрь листа в режиме кинжального проплавления. Толщина пластин для сварки равнялась 1,1 мм и 3,1 мм.

Образцы стали были механически отшлифованы на абразивах разной дисперсности, затем отполированы с использованием алмазной пасты. Поверхность протравили трехпроцентным раствором азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в спирте.

Структуру образцов исследовали методами оптической (ОМ) и растровой (SEM) микроскопии с помощью микроскопов Zeiss Axiovert 25 (рисунок 10) и Philips SEM 515 (рисунок 11), системы с электронным и сфокусированным ионным пучками Quanta 200 3D (рис. 12) с приставкой NORDLYS Oxford Instruments HKL Technology для автоматического анализа дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), а также просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) на микроскопе HT-7700 (рисунок 13).



Рисунок 10 – Световой микроскоп марки Zeiss Axiovert 25



Рисунок 11 –Сканирующий микроскоп Philips SEM 515

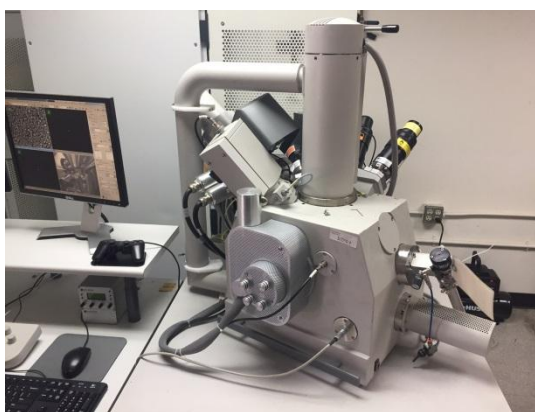


Рисунок 12 – Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200 3D с приставкой NORDLYS OxfordInstruments HKL Technology для анализа дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD)



Рисунок 13 – Просвечивающий электронный микроскоп HT-7700

Измерение микротвердости по Виккерсу проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г (рисунок 14).



Рисунок 14 – Микротвердомер ПМТ-3

Для изучения характеристик вязкости разрушения сварного шва стали при различных температурах были проведены испытания на ударный изгиб. Ударные испытания на изгиб образцов с V-образным надрезом проводили на маятниковом копре INSTRON MPX 450 (рисунок 15) в диапазоне температур испытания  $T_{исп}$  от  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Размеры, испытываемых образцов со сварным швом  $8 \times 3 \times 55$  мм с V-образным надрезом в два мм. Образцы в исходном состоянии –  $10 \times 10 \times 55$  мм. Надрез располагался так, что он пересекал и зону сплавления, и зону термического влияния.



Рисунок 15 – Маятниковый копер INSTRON MPX 450

Механические испытания на статическое растяжение образцов проводили на установке типа Поляни (рисунок 16) 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 16 – Установка для механических испытаний типа Поляни

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б61	Петренко Ольга Евгеньевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технология материалов

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Анализ потенциальных потребителей результатов исследования и конкурентоспособности; SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Планирование научно-исследовательского исследования (цели и результат исследования, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ)
3. Составление бюджета инженерного проекта	Бюджет проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Подтверждение эффективности проекта: Интегральный финансовый показатель; Интегральный показатель ресурсоэффективности; Интегральный показатель эффективности.

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
  2. Матрица SWOT
  3. Диаграмма Ганта
  4. 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	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б61	Петренко Ольга Евгеньевна		



## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки.
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно–исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

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

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для того, чтобы рассматривать данный метод для применения в промышленности нужно определить потенциального потребителя данного метода. За счет того, что лазерная сварка значительно повышает производительность, а также позволяет обрабатывать крупногабаритные детали и труднодоступные места по сравнению с другими видами сварки, потенциальными потребителями результатов исследования являются предприятия нефтегазовой промышленности, изготовители трубопроводов, предназначенных для эксплуатации в агрессивных условиях крайнего севера.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В качестве основных конкурентных технических решений были выбраны следующие технологии (табл. 4):

- лазерная сварка (данная работа) (1);
- дуговая сварка (2);
- газовая сварка (3).

Таблица 4 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Безопасность	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
5. Автоматизация процесса	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,4
6. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
7. Конкурентоспособность технологии	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Итого	1	33	25	20	4,6	3,5	2,75

Слабая сторона технологий конкурентов заключается в ресурсах, используемых для сварки, а также в возможности сварки труднодоступных мест. Для газовой сварки нужны баллоны с газом, а для дуговой источник питания. Причем газовую сварку нельзя автоматизировать.

Главное преимущество лазерной сварки в производительности и скорости обработки.

### 4.1.3 SWOT– анализ

В данном пункте будет проведен комплексный анализ сильных и слабых сторон технологии обработки (табл. 5). Это позволит более глубоко оценить данную технологию и перспективу применения.

Таблица 5 – Матрица SWOT–анализа

	<b>Сильные стороны:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая скорость нагрева и охлаждения</li> <li>2. Высокая производительность</li> <li>3. Экологичность и безопасность технологии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая стоимость</li> <li>2. Технология не до конца совершенна (еще развивается)</li> </ol>
<b>Возможности:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получение качественных сварных соединений</li> <li>2. Развитие технологии</li> </ol>	<p>Высокая производительность, экологичность, а также безопасность позволит получить востребованный продукт с высоким качеством.</p>	<p>Данную технологию из-за высокой стоимости стоит применять в массовом производстве, по этой же причине она не везде используется.</p> <p>Данная технология еще не до конца известна и не везде используется, могут возникнуть новые и неизвестные факторы при производстве.</p>
<b>Угрозы:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Появление новых технологий</li> </ol>	<p>Появление новых технологий может снизить актуальность исследования и технологии в целом.</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

Перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер-технолог
	2	Проведение литературного обзора по заданной тематике исследования	Инженер-технолог
	3	Выбор темы исследования: Возможность применения лазерной сварки для низкоуглеродистой промышленной стали X80	Научный руководитель, инженер-технолог
<b>Проведение НТИ</b>			
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер-технолог
	5	Календарное планирование работ	Инженер-технолог
Проведение исследования	6	Подготовка образцов к исследованию	Инженер-технолог
	7	Исследование микроструктуры низкоуглеродистой стали X80 в исходном состоянии и после сварки	Инженер-технолог
	8	Проведение испытаний на статическое растяжение	Инженер-технолог
	9	Проведение испытаний на твердость материала в исходном состоянии и после сварки	Инженер-технолог
	10	Проведение испытаний на ударную вязкость образцов после сварки	Инженер-технолог
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка и анализ полученных результатов	Научный руководитель, инженер-технолог
	12	Обобщение и формулировка выводов о проведённом научном исследовании	Научный руководитель, инженер-

			технолог
Оформление отчета по работе	13	Составление отчетной документации исследования	Инженер-технолог
	14	Сдача проекта	Инженер-технолог

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Определение трудоемкости является важным моментом для определения трудовых затрат на разработку.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула (1):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – 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.;

$t_{maxi}$  – 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 (2):

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

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел–дни	$t_{max}$ , чел–дни	$t_{ож}$ , чел–дни			
Выбор направления исследований	1	3	1,8	Научный руководитель, инженер-технолог	0,9	1
Проведение литературного обзора	20	30	24	Инженер-технолог	24	36
Выбор темы исследования	1	3	1,8	Научный руководитель, инженер-технолог	0,9	1
Составление и утверждение технического задания	1	4	2,2	Научный руководитель, инженер-технолог	1,1	2
Календарное планирование работ	1	5	2,6	Инженер-технолог	1,3	2
Подготовка образцов	25	30	27	Инженер-технолог	27	40
Исследование микроструктуры	10	15	12	Инженер-технолог	12	18
Проведение испытаний на статическое растяжение	2	5	3,2	Инженер-технолог	3,2	5
Проведение испытаний на твердость	2	5	3,2	Инженер-технолог	3,2	5
Проведение испытаний на ударную вязкость	1	3	1,8	Инженер-технолог	1,8	3
Анализ результатов	12	15	13,2	Научный руководитель,	6,6	10

				инженер-технолог		
Формулировка выводов	3	8	5	Научный руководитель, инженер-технолог	2,5	4
Составление отчета	10	15	12	Инженер-технолог	12	18
Сдача проекта	1	2	1,4	Инженер-технолог	1,4	2
Итого						147

Диаграмма Ганта является наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения научных работ.

При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 состоит из столбцов, разбитых на месяцы и декады (10 дней), за которые происходит выполнение ВКР. Ячейки, имеющие определенную штриховку, отражают вид работы и ее исполнителя. У каждого исполнителя своя штриховка.

Таблица 8 – Календарный график проведения НИР

№	Вид работы	Исполнители	Тк	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 исследований	Р,И	1		■														
2	Проведение литературного обзора	И	36		■	■	■	■											
3	Выбор темы исследования	Р, И	1					■											
4	Составление и утверждение технического задания	Р, И	2					■	■										
5	Календарное планирование работ	И	2					■	■										
6	Подготовка образцов	И	40					■	■	■	■	■							
7	Исследование микроструктуры	И	18									■	■	■					
8	Проведение испытаний на статическое растяжение	И	5											■	■	■			
9	Проведение испытаний на твердость	И	5												■	■	■		
10	Проведение испытаний на ударную вязкость	И	3													■	■	■	
11	Анализ результатов	Р, И	10													■	■	■	
12	Формулировка выводов	Р, И	4													■	■	■	
13	Составление отчета	И	18														■	■	
14	Сдача проекта	И	2															■	

■ – инженер (И), ■ – руководитель (Р).



График выполнения работ учитывает выходные и праздничные дни. Таким образом, суммарное количество рабочих дней на выполнение данного проектирования 147 у инженера, 18 у руководителя.

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В состав затрат на исследование влияния электропластической деформации на структуру и свойства низколегированной промышленной стали категории прочности X80, включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих данный проект. Расчет сметной стоимости на выполнение данной работы производится по следующим статьям затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- 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

Отражает стоимость всех материалов, используемых для исследования (табл. 9).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле(3):

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (3)$$

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, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Низкоуглеродистая промышленная сталь Х80	кг	0,01	71000	816,5
Шлифовальная бумага	шт.	3 (Р80)	24,7	74,1
		4 (Р600)	29,45	117,8
		4 (Р1000)	36,1	144,4
		3 (Р2500)	36,1	108,3
Полировальное сукно	шт.	2	80	160
Алмазная паста	кг	0,1	3055	305,5
Спирт	мл	500		
Кислоты для травления	мл	300	0,053	15,9
Медицинские перчатки	шт.	2	24	48
Халат	шт.	1	600	600
Итого				2389,8

#### 4.3.2 Расчет затрат на 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-3, компьютер и принтер. Оборудование есть в лаборатории ФМ и НМК.

Таблица – 10 Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Оптический микроскоп марки Zeiss Axiovert 25	1	1150,6	1323,19
2	Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200 3D с приставкой NORDLYS Oxford Instruments HKL Technology	1	12128	13947,2
3	Установка типа Поляни	1	2640,151	3036,174
4	Маятниковый копер INSTRON MPX 450	1	1383,5	1591,025
5	Микротвердомер ПМТ-3	1	758	871,7
Итого:				20769,3

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле (4):

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле (5):

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5)$$

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

Амортизация оборудования составила 173077,5 руб.

### **4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы**

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада (табл. 11).

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле (6):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Должностной оклад работника за месяц:

- для инженера 26000руб.
- для руководителя 12500 руб.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

№	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, 3, 4, 11, 12	Руководитель (научный сотрудник)	18	2100	37800
2	1-14	Инженер	147	1078	158466
Итого:					196266

В данной пункте рассчитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (15 % от  $Z_{осн}$ ).

Дополнительная заработная плата составила 29439,9руб.

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле (8):

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (8)$$

где  $K_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Для руководителя:  $Z_{внеб} = 0,3 \cdot (39951,4 + 5992,7) = 13783,2$  руб.

Для инженера:  $Z_{внеб} = 0,3 \cdot (91962,6 + 13794,4) = 31727,1$  руб.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	39951,4	39951,4	39951,4	5992,7	5992,7	5992,7
Студент-дипломник	91962,6	91962,6	91962,6	13794,4	13794,4	13794,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Для руководителя: $Z_{внеб} = 13783,2$ руб. Для инженера: $Z_{внеб} = 31727,1$ руб.					
Итого 197211,4						
Исполнение 1	Лазерная сварка					
Исполнение 2	Электродуговая сварка					
Исполнение 3	Газовая сварка					

#### 4.3.5 Накладные расходы

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 (9):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \quad (9)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.3.6 Бюджетная стоимость

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ (табл. 13).

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НИИ

Статьи затрат	Стоимость, руб.
1. Материальные затраты НИИ	2389,8
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (тыс. руб.)	173077,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	196266
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29439,9
5. Отчисления во внебюджетные фонды	67711,77
7. Накладные расходы	75021,6
8. Бюджет затрат НИИ	543906,57

#### 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 (10):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (10)$$

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

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Лазерная сварка	Дуговая сварка	Газовая сварка
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4	3
3. Энергосбережение	0,2	4	3	3
4. Надежность	0,2	4	4	3
5. Автоматизация	0,15	5	4	1
Итого	1	4,45	3,8	2,4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (11):

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (11)$$

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ) (табл. 15):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (12)$$



Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,83	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,8	2,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,58	2,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,03	1	1,798

### Вывод

Исходя из проведенного анализа, можно отметить, что применение лазерной сварки, является более выгодным, нежели дуговая и газовая сварка, хотя эффективность третьего выше. Но лазерная сварка обходит по остальным факторам, и особенно по скорости нагрева металла.

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 147 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 147 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 18 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 543906,57 руб.;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, по сравнению с 0,83 и 0,94. Данный показатель показывает, что разработка не

полностью является финансово выгодной по сравнению с аналогами, но и не сильно отличается по стоимости;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 3,8 и 2,4;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 4,58 и 2,55, и достигает почти самых высоких значений, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является достаточно эффективным вариантом исполнения.