

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Янченко Кристина Романовна

**Исследование неразъемных паяных муфтовых соединений
трубопроводов из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с целью
установления факторов, влияющих на качество пайки**

Направление подготовки

22.04.01 - «Материаловедение и технологии материалов»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук,
доцент кафедры МТНМ
Калугина Анна Алексеевна

Рецензент

Защита состоится «18» июня 2025 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202/2.

Автореферат разослан ____ июня 2025 г.

Секретарь ГЭК

Бурдасова Александра Александровна

Цель и задачи исследования

Целью данного проекта является выявление и анализ дефектов паянных соединений нержавеющей стали марки 12X18H10T с целью их минимизации и повышения надежности соединений.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **основные задачи исследования:**

1. Изучить марку стали 12X18H10T, включая технологию её производства, с особым вниманием к дефектам, возникающим в процессе пайки и способам их предотвращения.
2. Выполнить патентный анализ существующих методов устранения дефектов, возникающих в процессе пайки токами высокой частоты.
3. Выполнить ряд испытаний нержавеющей стали марки 12X18H10T, основанных на различных методиках.
4. Определить морфологические характеристики дефектов посредством оптической металлографии и спектрального анализа.
5. На основании полученных данных сделать общее заключение и разработать рекомендации, направленные на минимизацию дефектов в стальных изделиях и увеличение надежности соединений.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются факторы, приводящие к образованию дефектов при пайке нержавеющей стали. Предметом исследования является нержавеющая сталь 12X18H10T.

Методы исследования. Аналитический обзор литературы и патентных источников; определение элементного анализа исследуемой стали на спектроанализаторе оптико-эмиссионном Q4 TASMAR 170 Bruker; металлографический анализ на микроскопе Nikon MA200; исследования микроструктуры стали на сканирующем электронном микроскопе SEM S-3400N; изучение микротвёрдости образцов на микротвердомере HNV-2; обработка экспериментальных данных.

Новизна полученных результатов:

В диссертационной работе впервые проведен комплексный анализ неразъемных паяных муфтовых соединений трубопроводов из нержавеющей стали 12X18H10T, выполненных методом высокочастотной пайки с применением никелевого припоя. Получены новые данные о влиянии параметров технологического процесса пайки на формирование дефектов соединений, их структуру и прочностные характеристики.

Разработана методика выявления и классификации характерных дефектов паяных соединений, таких как пористость, трещины различной ориентации, непровар, неспай, наплывы припоя, межкристаллитная коррозия, что позволило установить их морфологические особенности и причины возникновения.

Обоснована взаимосвязь между режимами индукционного нагрева, параметрами подготовки поверхностей, химическим составом применяемых припоев и образованием дефектов, снижающих надежность соединений. Установлены оптимальные режимы пайки, обеспечивающие повышение качества и долговечности паяных муфтовых соединений трубопроводов из стали 12X18H10T.

Сформулированы практические рекомендации по совершенствованию технологического процесса пайки высокочастотным методом с целью минимизации дефектов и повышения эксплуатационной надежности трубопроводных систем.

Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых, взаимодополняющих методов исследования. Анализ экспериментальных данных проведен с соблюдением критериев достоверности измерений.

Практическая значимость и ценность работы.

Результаты работы позволяют повысить качество и надежность паяных муфтовых соединений трубопроводов из нержавеющей стали 12Х18Н10Т за счет оптимизации параметров высокочастотной пайки и подготовки соединяемых поверхностей. Разработанные рекомендации обеспечивают снижение вероятности образования дефектов, таких как пористость, трещины, неспаи и межкристаллитная коррозия. Полученные данные могут быть использованы при разработке и совершенствовании технологических процессов пайки в производстве трубопроводных систем различного назначения, а также при организации контроля качества сварно-паяных соединений в машиностроении, энергетике, химической и нефтегазовой промышленности.

Личный вклад автора.

Представленные в работе результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Анализ литературных источников, проведение экспериментальных исследований, а также обработка и анализ результатов экспериментов выполнены лично автором. Постановка задач исследований и обсуждение результатов проведено при непосредственном участии автора совместно с научным руководителем.

Основные положения, выносимые на защиту:

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты работы:

1. Экспериментально установленные виды дефектов паяных муфтовых соединений из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, возникающие при высокочастотной пайке.
2. Закономерности влияния параметров технологического процесса пайки на формирование пор, трещин, неспаев, наплывов припоя и межкристаллитной коррозии.

3. Оптимальные режимы подготовки поверхностей и параметров пайки, обеспечивающие снижение дефектности и повышение прочностных характеристик соединений.

4. Практические рекомендации по контролю качества и совершенствованию процессов пайки муфтовых соединений в промышленном производстве.

Структура и объём магистерской диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников. Общий объём работы составляет 93 страницы, включая 45 рисунков, 16 таблиц, списка используемых источников, состоящий из 73 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснования актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

В первом разделе представлен обзор литературных данных, посвящённый основным характеристикам и особенностям стали марки 12X18H10T, а также анализируются дефекты, которые могут возникать при её пайке.

Во втором разделе представлен патентный поиск, ориентированный на исследование новейших разработок в рамках темы исследования.

В третьем разделе описаны материалы и методы, используемые в исследовании.

В четвертом разделе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение характеристик неразъемных муфтовых соединений из нержавеющей стали 12X18H10T после пайки.

На первом этапе проведён оптико-эмиссионный спектральный анализ образцов с использованием прибора Q4 TASMAN 170 Bruker. В результате анализа были получены массовые доли основных химических элементов для

двух образцов (Таблица 1). Химический состав подтверждает принадлежность исследуемых образцов к марке стали 12Х18Н10Т. Зафиксировано повышенное содержание никеля (до 13,2 % при нормативном значении 9–11 %), что объясняется наличием никелевого покрытия на поверхности образцов.

Таблица 1 – Результаты исследования образцов

	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
Образец №1	0,065	0,441	1,470	19,05	13,20	0,499	0,067
Образец №2	0,063	0,441	1,134	18,59	12,37	0,558	0,085
ГОСТ 5632-72	не более 0,12	не более 0,8	не более 2,0	17,0 - 19,0	9,0 –11,0	0,8-5,0	—

Далее проведён металлографический анализ на микроскопе Nikon Eclipse MA200. На нетравленных шлифах выявлены дефекты в виде отдельных тёмных пятен и включений (рисунок 1).

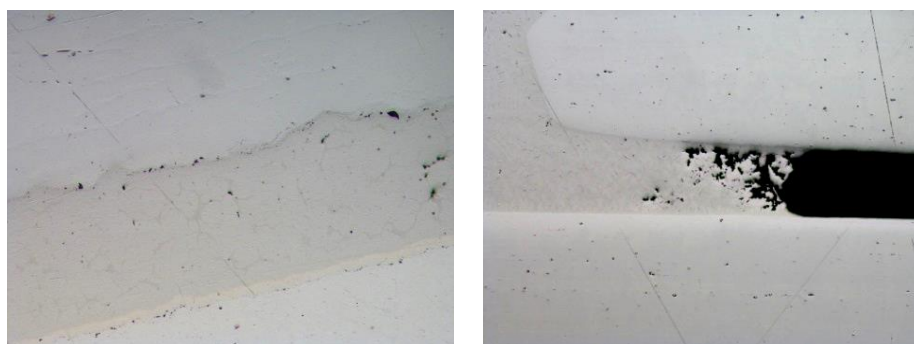


Рисунок 1 – Микроструктура стали до травления, х200

Анализ не травлённой поверхности образцов выявил наличие дефектов в паяном соединении, показанные на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Межкристаллитная коррозия в сварном шве, х100

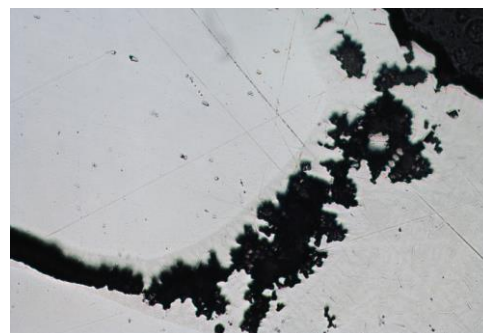


Рисунок 3 – Непровар муфтового соединения с межкристаллитной коррозией по сварному шву, х200

Помимо этого, межкристаллитная коррозия была так же обнаружена на поверхности нержавеющей стали (рисунок 4).

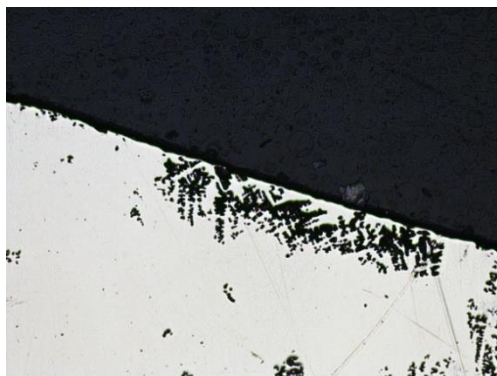


Рисунок 4 – Межкристаллитная коррозия на поверхности стали, x200

После травления получено более контрастное изображение микроструктуры, что позволило визуализировать аустенитную структуру с чёткими зёрнами и двойниками (рисунок 5). Также проведён анализ микроструктуры переходной зоны между припоем и основным металлом, где зафиксирован никелевый слой, способствующий формированию прочного соединения (рисунок 6). В переходной зоне были обнаружены включения, указывающие на наличие локальных нарушений сцепления припоя с основным металлом, способных привести к развитию макропор и трещин.

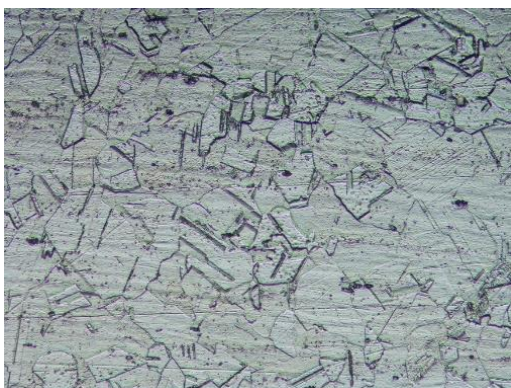


Рисунок 5 – Аустенитная структура стали, x400

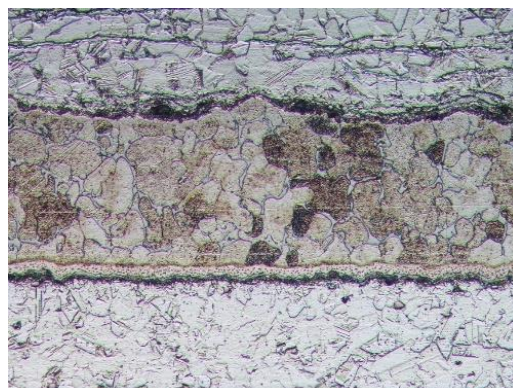


Рисунок 6 - Микроструктура нержавеющей стали и материала припоя, x400

На дополнительных микроснимках после травления были визуализированы более глубокие дефекты. Межкристаллитная коррозия проникает вглубь основного металла из зоны припоя (рисунок 7), а также

выявлены поры в шве с выраженными участками межкристаллитной коррозии (рисунок 8).



Рисунок 7 – Межкристаллитная коррозия, проникающая из припоя в структуру основного металла, x100



Рисунок 8 – Пора в зоне сварного шва, межкристаллитная коррозия в зоне припоя, x400

Следующий этап исследования включал электронно-микроскопический анализ, проведённый с использованием сканирующего электронного микроскопа SEM S-3400N. Исследование торцов показало равномерное никелевое покрытие без значительных дефектов (рисунок 9, 10).

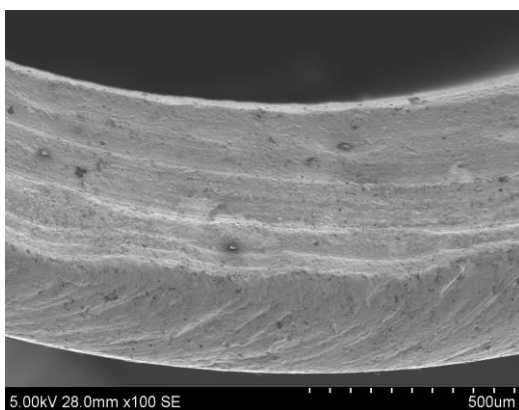


Рисунок 9 – Структура торца, x100

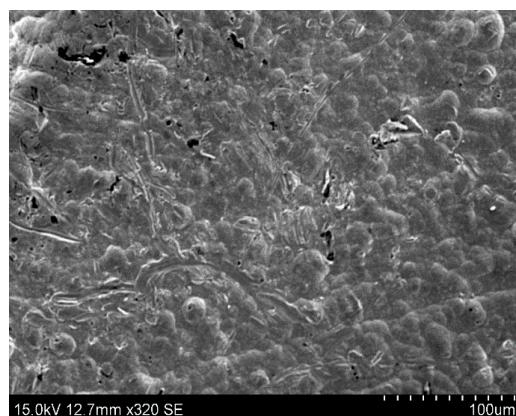


Рисунок 10 – Структура торца, x320

Результаты химического анализа покрытия подтверждают доминирующее содержание никеля на уровне 96 – 97 % (таблица 2).

Таблица 2 – Элементный химический состав образцов

Элемент	Количество, %	
	Образец №1	Образец №2
C	1,57	2,63
O	1,44	1,34
NI	97,00	96,03
Всего	100,00	100,00

Определена толщина никелевого покрытия — в среднем 12,7 мкм (Рисунок 11), что соответствует требованиям ГОСТ 9.303-84.

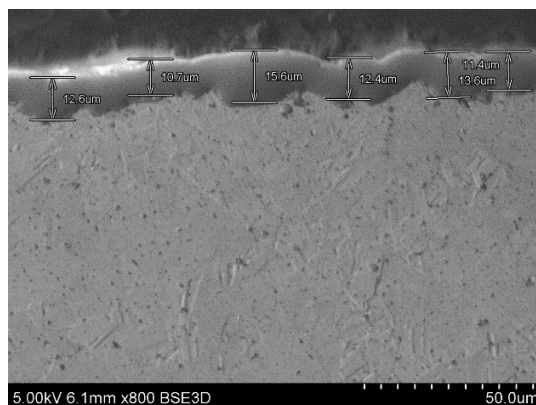


Рисунок 11 – Никелевое покрытие, x800

Зафиксированы дефекты в виде пор размерами 104–247 мкм по длине и 29,1–62,5 мкм по ширине (рисунок 12 и рисунок 13). Наличие подобных пор создаёт зоны концентрации влаги и агрессивных сред, что ускоряет развитие межкристаллитной коррозии вдоль границ зёрен, ослабляя прочность соединения.

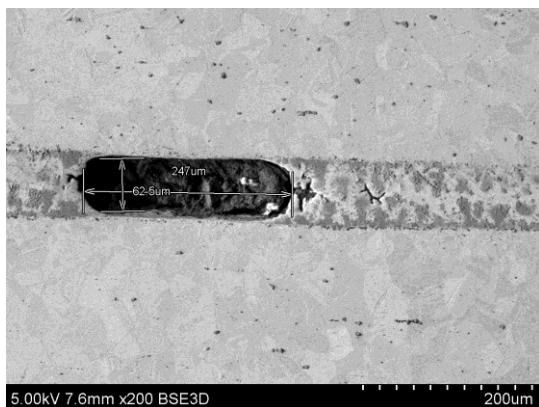


Рисунок 12 – Крупная пора в зоне паянного соединения, x200

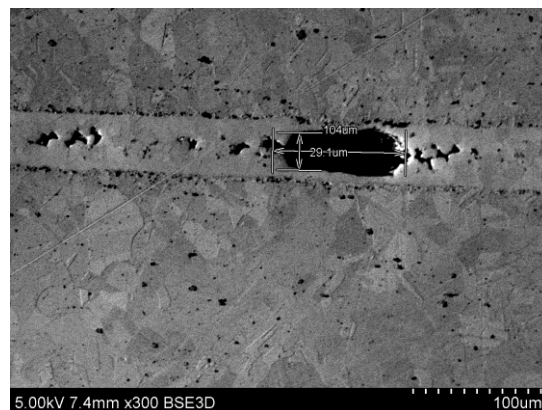


Рисунок 13 – Пора и межкристаллитная коррозия в зоне паянного соединения, x300

В завершающей части раздела проведены исследования микротвёрдости с использованием микротвердомера НМV-2. Измерения в продольном сечении выполнены с шагом 1 мм. Далее рассчитаны интервальные характеристики и построено распределение микротвердости

(рисунок 14). Среднее значение микротвердости в продольном сечении составило 176,8 кгс/мм² при заметной асимметрии распределения значений.

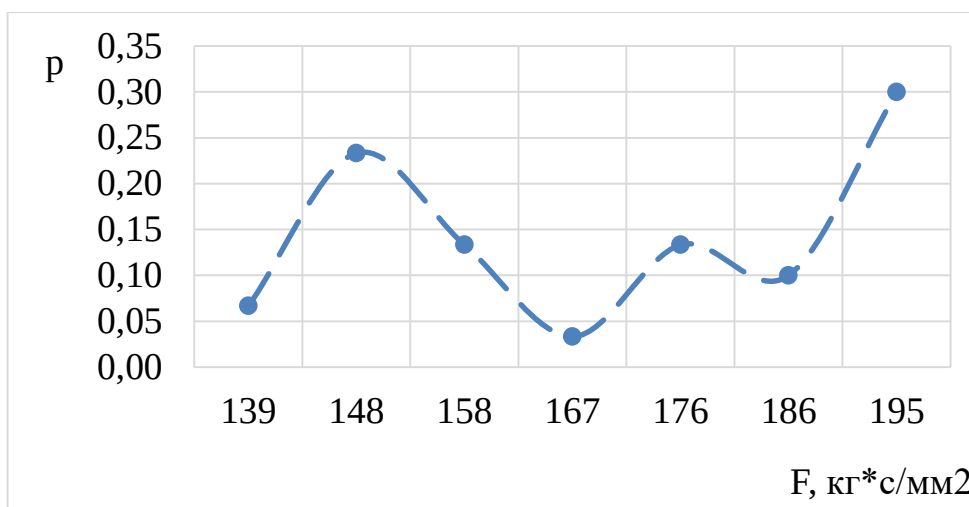


Рисунок 14 – Кривая микротвердости в продольном сечении

Дополнительно выполнено измерение микротвёрдости в поперечном сечении. График распределения микротвёрдости (рисунок 15) показывает несколько более низкие средние значения — 144,28 кгс/мм², что связано с влиянием дефектов в зоне шва.

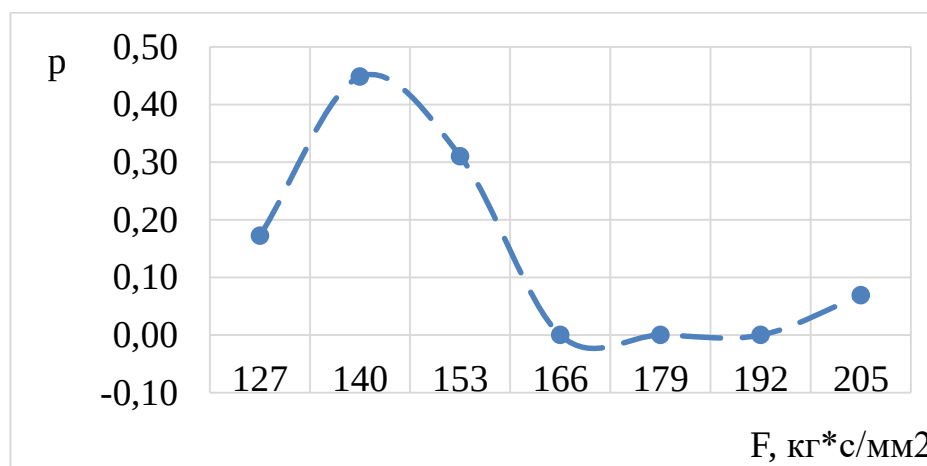


Рисунок 15 – Кривая микротвердости в поперечном сечении

Проведённые измерения микротвердости демонстрируют локальное снижение прочности материала в областях дефектов, подтверждая выводы о негативном влиянии пор, межкристаллитной коррозии и неспаев на механические свойства соединений.

Заключение

В выполненной работе проведено всестороннее исследование неразъемных паяных муфтовых соединений из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. В процессе пайки установлено формирование дефектов, оказывающих влияние на качество и долговечность соединений. Среди выявленных дефектов основными являются межкристаллитная коррозия, пористость, непровары и ослабленное сцепление припоя с основным металлом.

Химический анализ подтвердил соответствие материала заявленной марке стали с отклонением по содержанию никеля вследствие никелевого покрытия. Металлографические исследования позволили детально охарактеризовать микроструктуру соединений, выявить аустенитную структуру стали, проанализировать распространение коррозии и зоны нарушенного контакта.

Электронно-микроскопический анализ обеспечил количественную оценку толщины никелевого покрытия, которая составила в среднем 12,7 мкм, а также позволил измерить размеры пор, достигающие до 247 мкм. Наличие крупных пор и дефектов сцепления создает благоприятные условия для накопления агрессивных сред, что ускоряет развитие коррозионных процессов и снижает долговечность соединений.

Результаты измерения микротвердости показали снижение прочностных характеристик в зонах дефектов как в продольном, так и в поперечном сечениях. Анализ распределения микротвердости подтвердил неоднородность свойств материала в зоне пайки.

Полученные результаты позволили разработать рекомендации по совершенствованию технологии пайки, включающие оптимизацию подготовки поверхностей, корректировку температурно-временных режимов и контроль равномерности распределения припоя.