

ЗАДАНИЕ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный университет»
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ

/И.о. зам. кафедры  А.В. Бобровский

«28» 03 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

(уровень специалиста)

направление подготовки 151001.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение

автоматизированных машиностроительных производств»

Специальность «Технология машиностроения»

Студент Трофимов Вадим Николаевич, гр. ТМ-1001

1. Тема Исследование технологических процессов лазерной сварки, реализуемых с использованием
электронного излучения

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «___» _____ 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе Максимум кредитных часов, часовых затрат на выполнение задания

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 90-120 с.)

Титульный лист, Задание, Реферат (аннотация), Содержание.

Введение, цель проекта

1) Описание исходных данных. Цель и задачи проекта

2) Разработки расчетно-структурного и металлографического анализа сварочных при лазерной сварке соединений (анализ опытных образцов изделий)

3) Теоретическое обоснование параметров технологического процесса сварки с использованием электронного излучения сварочных аппаратов

4) Плановые исследования

5) Проектирование технологических операций сборки-сварки изделий. Разработка управляющей программы для сборки-сварки

6) Проектирование специального приспособления для автоматизации процесса сборки-сварки изделий

7) Проведение испытаний сварочных изделий

8) Безопасность и экологичность выполняемого объекта

9) Экономическая эффективность проекта

Заключение. Литература

Приложения: технологическая документация, спецификации на сборочные изделия

5. Ориентировочный перечень графического материала (8-10 листов формата А1)

- 1) Материалы исследований 3-5
- 2) Материалы плановых исследований 1-2
- 3) Чертежи технологической части 1,5-2
- 4) Чертежи проекционных 1-2
- 5) Прогноз 0,5-1

6. Консультанты по разделам

Безопасность и экологичность технологического объекта 

Экономическая эффективность проекта 

Нормоконтроль 

7. Дата выдачи задания «28» марта 2016 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы		Л.А. Рогозин (И.О. Фамилия)
Задание принято к исполнению		В.Н. Трофимов (И.О. Фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Описание исходных данных. Цель и задачи проекта	6
2. Результаты рентгеноспектрального и металлографического анализа получаемых при лазерной сварке соединений (анализ опытной партии изделий)	9
3. Теоретическое обоснование параметров технологического процесса сварки с использованием оптоволоконных лазерных излучателей	39
4. Патентные исследования	44
5. Проектирование технологических операций сборки-сварки изделий. Разработка управляющих программ для сборки-сварки	47
6. Проектирование специального приспособления для автоматизации процесса сборки-сварки изделий	52
7. Проведение испытаний получаемых изделий	57
8. Экологичность и безопасность объекта проектирования	82
9. Экономическая эффективность проекта	98
Заключение	108
Библиографический список	109

АННОТАЦИЯ

УДК 621.0.01

Трофимов Вадим Николаевич

Исследование технологических процессов лазерной сварки, реализуемых с использованием оптоволоконного излучателя

Дипломный проект. Тольятти. Тольяттинский государственный университет, 2016.

В дипломном проекте рассмотрены вопросы создания технологии сборки-сварки изделий с применением прогрессивных лазерных излучателей.

Предложено:

- оригинальная технология сборки-сварки тонкостенных оболочек, не имеющая аналогов в России;
- применение высокопроизводительного оборудования и оснастки в разработанном технологическом процессе;
- снижение себестоимости изготовления изделий за счет использования одной единицы оборудования с одним комплектом оснастки;
- оригинальное приспособление, снижающее себестоимость изготовления и сварки изделий.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки в объеме 112 страниц, содержащей 26 таблиц, 71 рисунок, и 11 листов чертежей.

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении максимально широко используются прогрессивные инженерно-технические методы создания технологий и средства для реализации этих проектов. Лазерные технологии (технологические процессы, основанные на внедрении лазерного излучения для термической обработки, сварки, резки деталей, получения отверстий малого диаметра в сверхтвердых материалах и др) по праву заняли достойное место среди таких прогрессивных методов. Россия (и существовавший до нее СССР) является страной-лидером по проектированию, изготовлению и внедрению лазерных технологий в промышленность. У нас в стране изготавливаются как лазерные излучатели, так и системы приводов, системы управления, с помощью которых излучатели оформляются в вид промышленно применимых высокотехнологичных машин и установок.

Появившиеся в последнее время лазерные излучатели оптоволоконного типа составили достойную конкуренцию и альтернативу излучателям прошлых поколений – газовым лазерам (CO_2), а также твердотельным лазерным излучателям. При своей более высокой первоначальной стоимости оптоволоконные лазерные излучатели значительно более удобны в использовании, характеризуются небольшими затратами на обслуживание и эксплуатацию, а также технически более понятны из-за меньшего числа сложных оптических элементов, включенных в состав излучателя.

Однако к настоящему моменту оказываются недостаточно изученными процессы, реализуемые при помощи таких излучателей. В то время как у промышленной сферы есть актуальные запросы по данной тематике.

Настоящая дипломная работа посвящена исследованиям процессов сборки-сварки компонентов (в виде тонкостенных оболочек) с использованием лазерной установки на базе оптоволоконного излучателя. Для работы использовался технологический лазерный комплекс Инновационно-технологического центра Тольяттинского государственного университета.

1 ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

1.1 Описание исходных данных

С помощью лазерной установки Инновационно-технологического центра Тольяттинского государственного университета реализуются технологии сварки, резки, термического упрочнения, легирования, маркировки и микрогравировки широкого спектра конструкционных материалов (стальных, титановых, легких сплавов, а также металлов и композиционных материалов).

Рассмотрим процесс сборки-сварки тонкостенных оболочек, выполняемых из нержавеющей сталей аустенитного класса.

Сборка изделия осуществляется за счет последовательной лазерной сварки компонентов между собой. На рисунке 1.1 показан лазерный комплекс ЛКД4 на базе современного квазинепрерывного иттербиевого источника лазерного излучения.



Рисунок 1.1 Лазерный комплекс ЛКД4. Общий вид

В ходе анализа операции сборки оболочек выяснилось, что технология сборки-сварки изучена не до конца. Проблемы при сварке возникают из-за недостатка теоретических знаний и практических навыков сварки элементов разной толщины. Кроме этого недостаточно изучен процесс именно лазерной сварки деталей разных толщин.

При существующей технологии сборки выявлены следующие существенные недостатки базового ТП:

- 1) Ввиду недостаточной теоретической и практической базы, не найдены оптимальные параметры и режимы сварки.
- 2) Большие затраты времени на подготовку к сварке и переустановы ввиду отсутствия механизированных либо автоматизированных приспособлений.
- 3) Ввиду недостаточного понимания влияния энергосилового воздействия на качество получаемого соединения нередко происходят дефекты сварки, такие как прожоги, проплавы, непровары, раковины и др.

1.2 Цель и задачи дипломного проектирования

Предварительный анализ технологического процесса сборки тонкостенных изделий, проведенный во время выполнения преддипломной практики и подготовки к дипломному проекту, позволил выявить ряд недостатков, сдерживающих повышение производительности и снижение его себестоимости.

Учитывая недостатки базового техпроцесса сборки-сварки, были сформулированы задачи дипломного проекта и пути улучшения ТП:

- 1) Провести рентгеноспектральный и металлографический анализ получаемых соединений.
- 2) Изучить влияние различных факторов энергосилового воздействия на качество получаемого соединения.

- 3) Изучить теоретическую базу по сварке деталей разных толщин, а также теоретическую базу по сварке деталей с помощью лазерного излучателя.
- 4) Проанализировать полученный материал и предложить оптимальные режимы сборки-сварки тонкостенных элементов.
- 5) Разработать последовательность сварки элементов с целью уменьшения подготовительно-заключительного времени к операции.
- 6) Спроектировать специальное приспособление для базирования элементов оболочек во время сварки, что позволит существенно снизить штучное время.
- 7) Провести испытания получаемых соединений.
- 8) Проанализировать ТП с точки зрения возникновения опасных и вредных факторов, принять меры по их устранению или защите от их воздействия.
- 9) Определить экономическую эффективность предлагаемых технических решений и рассчитать затраты на выполнение научно-исследовательской работы.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОГО И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ СОЕДИНЕНИЙ (АНАЛИЗ ОПЫТНОЙ ПАРТИИ ИЗДЕЛИЙ)

Результаты исследований. Описание внешнего вида.

[7], [23], [31], [32]

На исследование поступило изделие в виде стержня, предварительно разрезанного на несколько частей. Фрагменты изделия деформированы. Для металлографического анализа изготавливались шлифы. Образцы запрессовывались в пластмассу при температуре $\sim 180^{\circ}\text{C}$ и подвергались химическому травлению различными реактивами («царская водка», «реактив Васильева» и др.).



Рисунок 2.1 Внешний вид изделия и условное разделение
на конструктивные элементы



Рисунок 2.2 Внешний вид концевой фрагмента
(прямоугольником выделена часть, вырезанная для заливки в шлиф)



Рисунок 2.3 Внешний вид ниппельной части, вырезанной
для заливки в шлиф

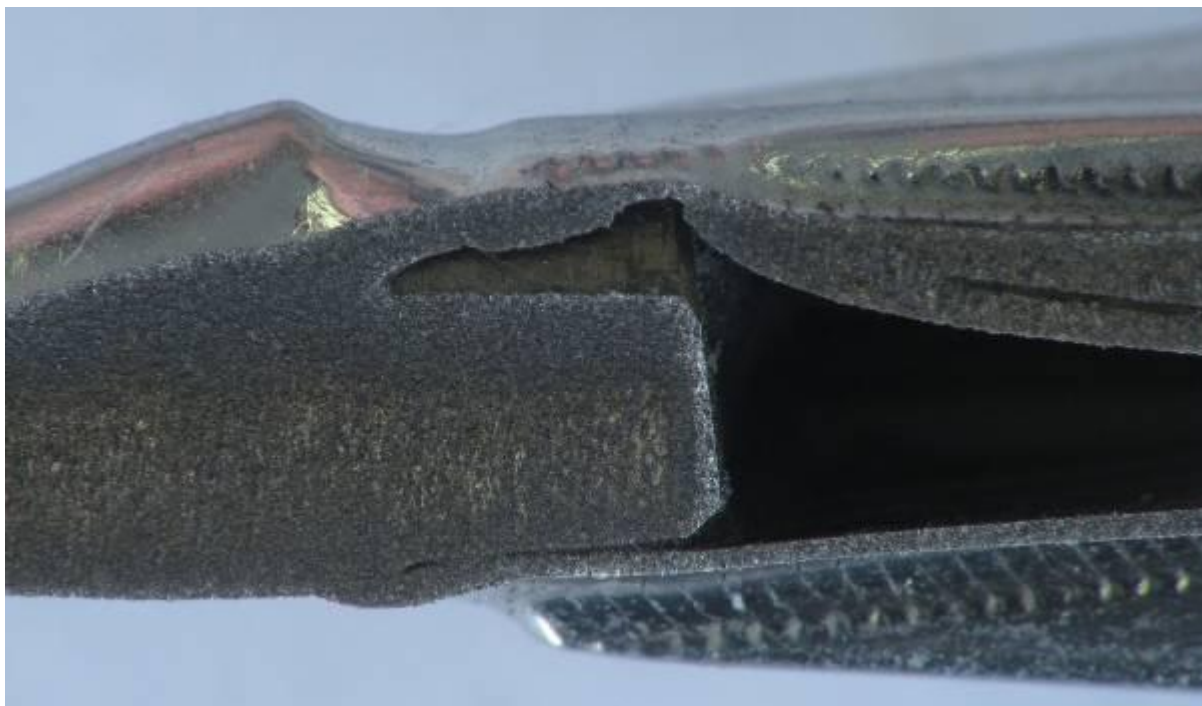


Рисунок 2.4 Внешний вид вырезанной концевой части
в зоне сварки с трубкой основной части

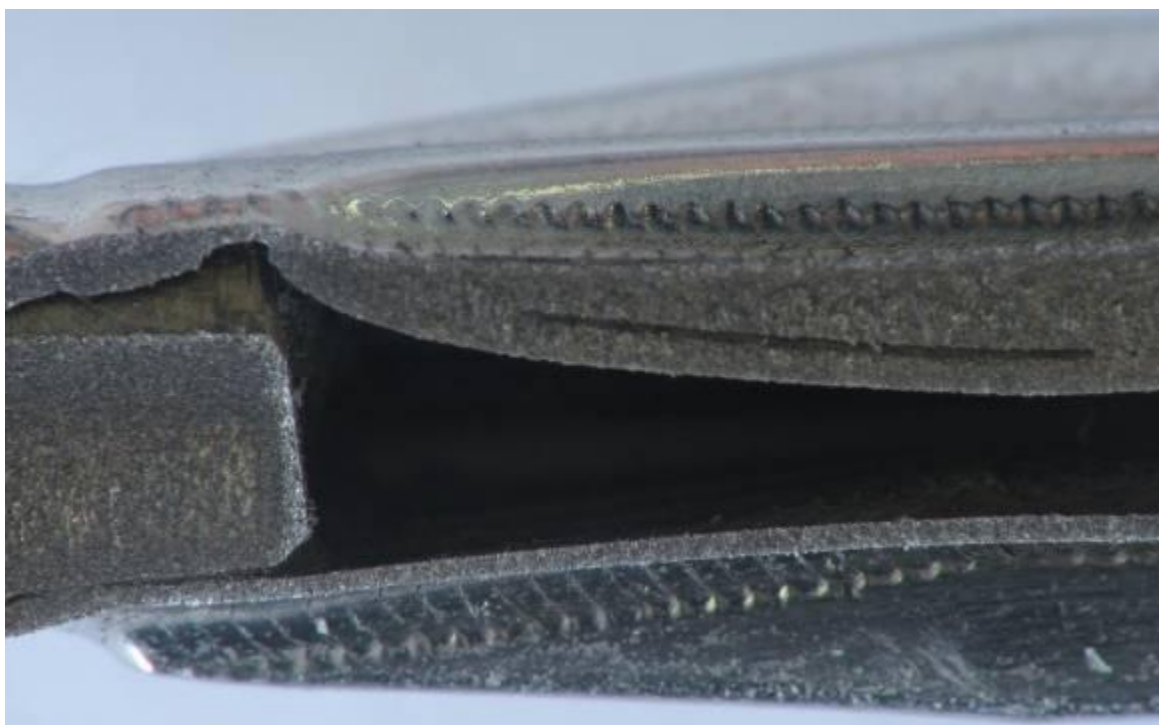


Рисунок 2.5 Внешний вид вырезанной концевой части
в зоне сварки с трубкой основной части

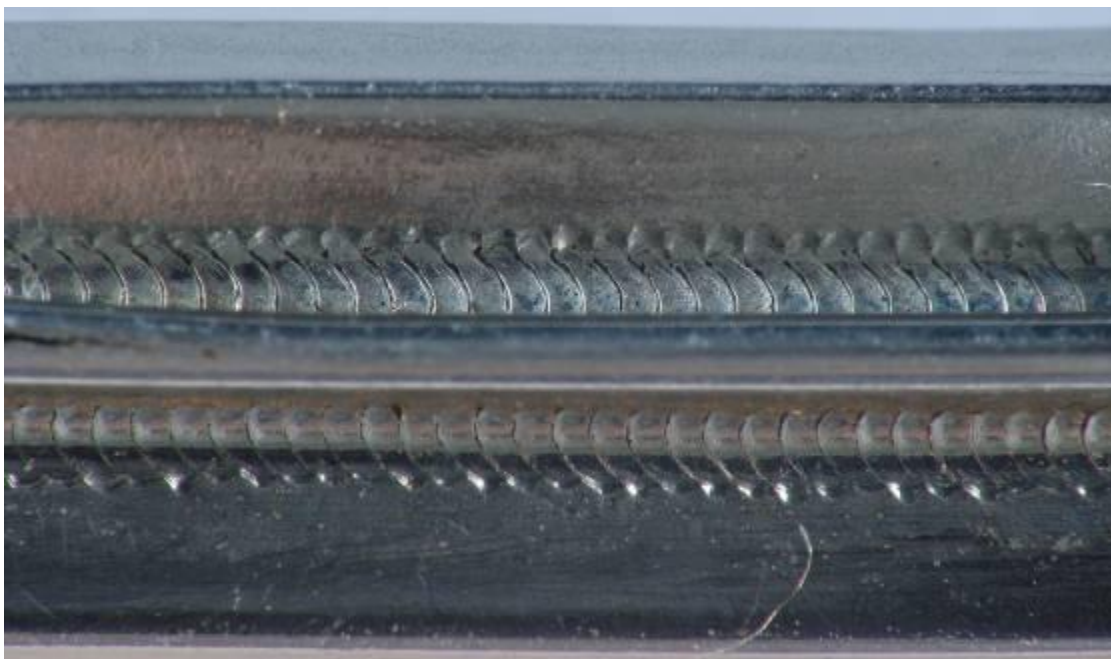


Рисунок 2.6 Внешний вид сварного шва трубки и ребер жесткости основной части

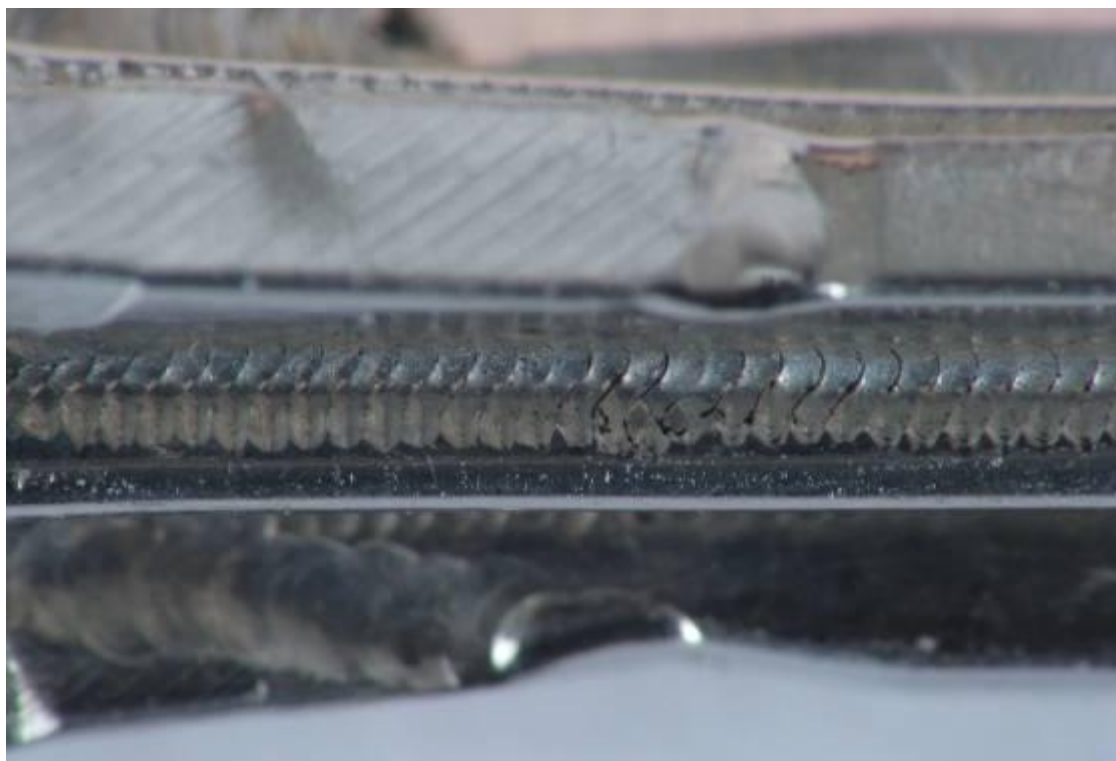
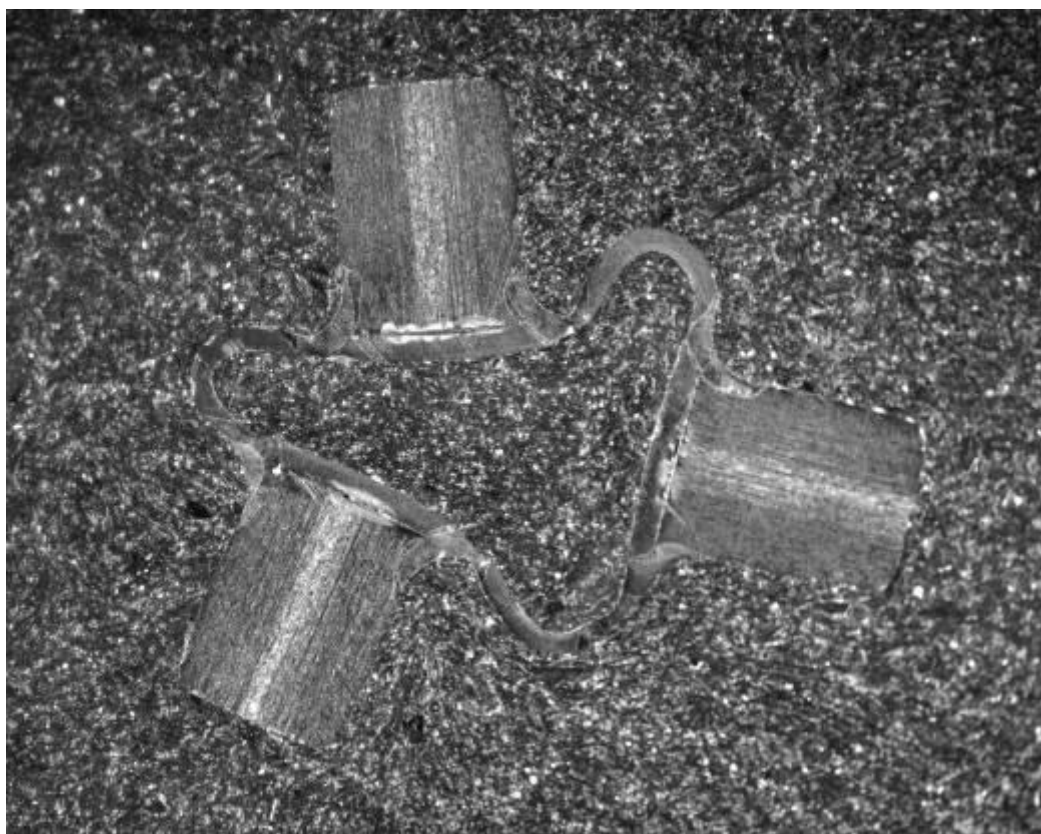


Рисунок 2.7 Внешний вид сварного шва трубки и ребер жесткости основной части в зоне соединения с ниппельной частью



Рисунок 2.8 Внешний вид зоны сварного соединения
основной и ниппельной частей



×16

Рисунок 2.9 Макроструктура поперечного сечения основной
части изделия

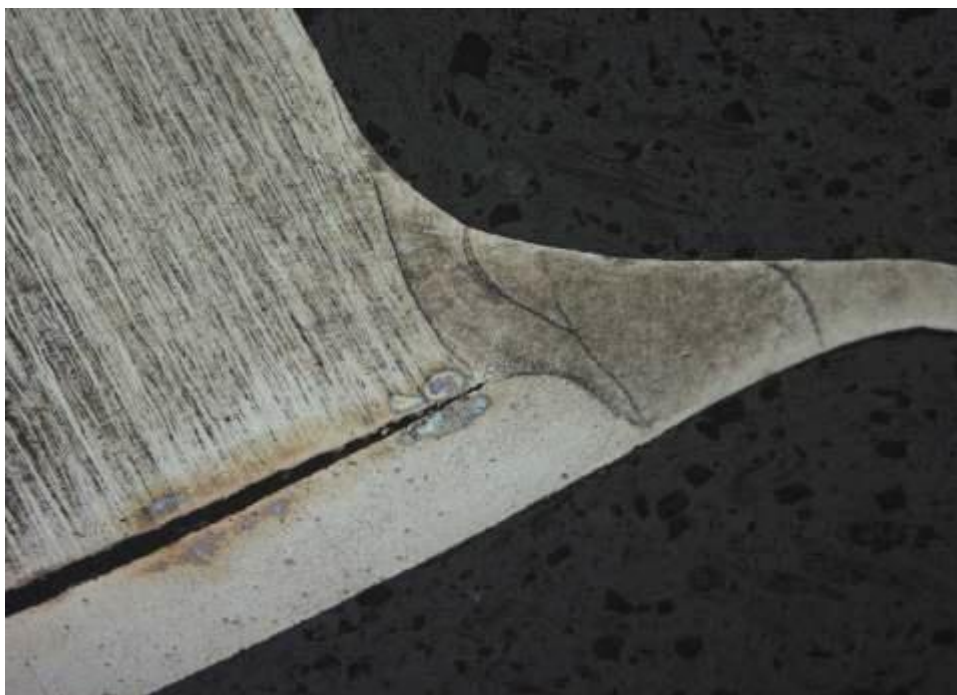
Таблица 2.1 – Параметры основной части изделия

Конструктивный элемент	Проверенные параметры	
	Преобладающая микроструктура	Твердость по Виккерсу, HV1
Трубка	Аустенит	192; 192; 192 HV1
Ребро жесткости	Аустенит	158; 172; 175 HV1
Литое ядро сварного соединения трубки и ребра жесткости	---	177; 180; 195 HV1



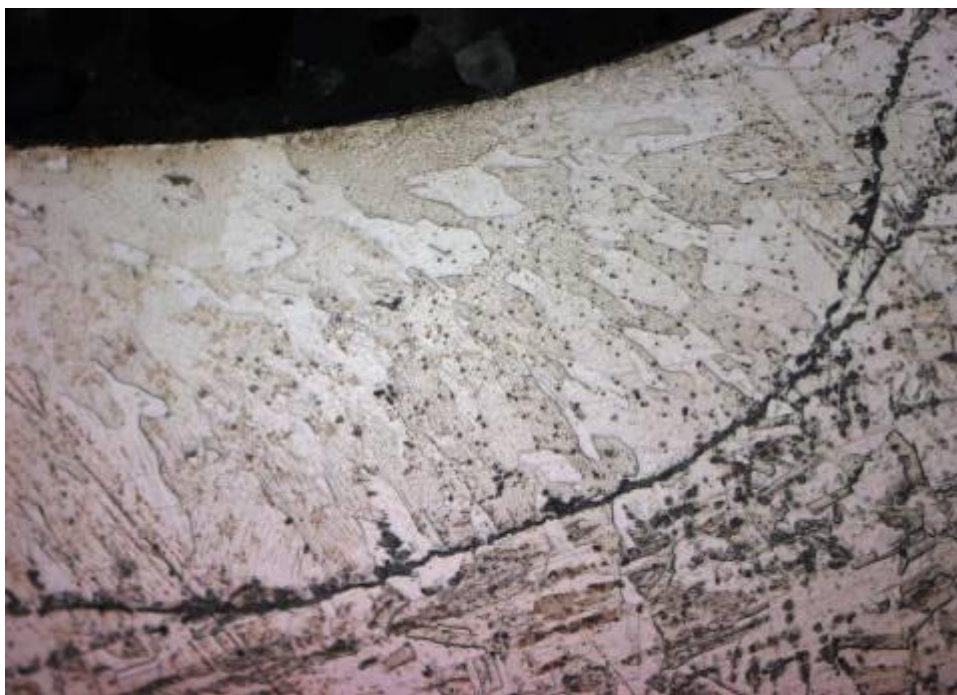
×100

Рисунок 2.10 Микроструктура сварного соединения трубки и ребра жесткости



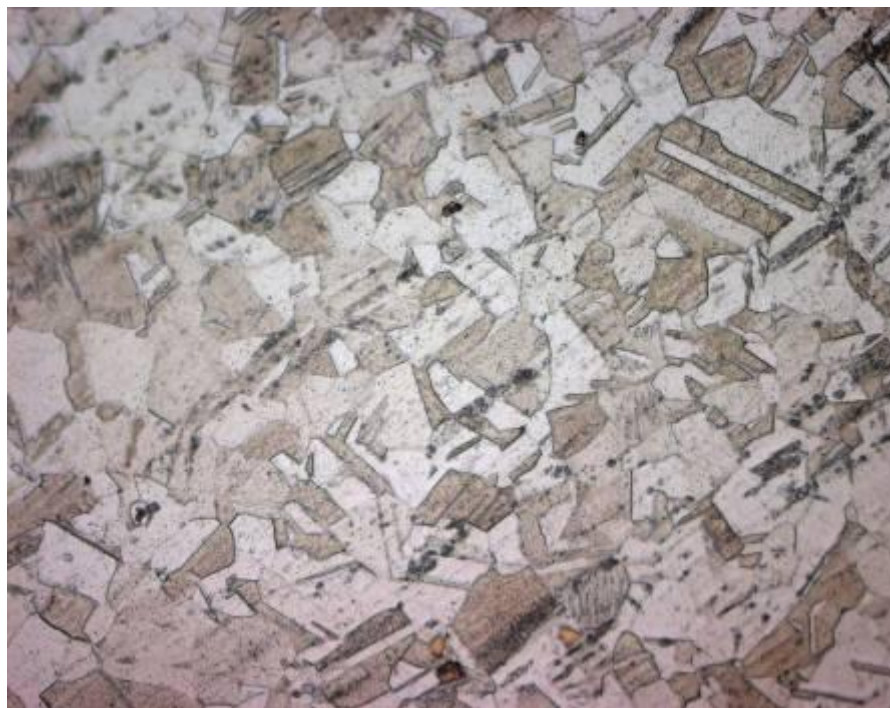
×100

Рисунок 2.11 Микроструктура сварного соединения трубки и ребра жесткости



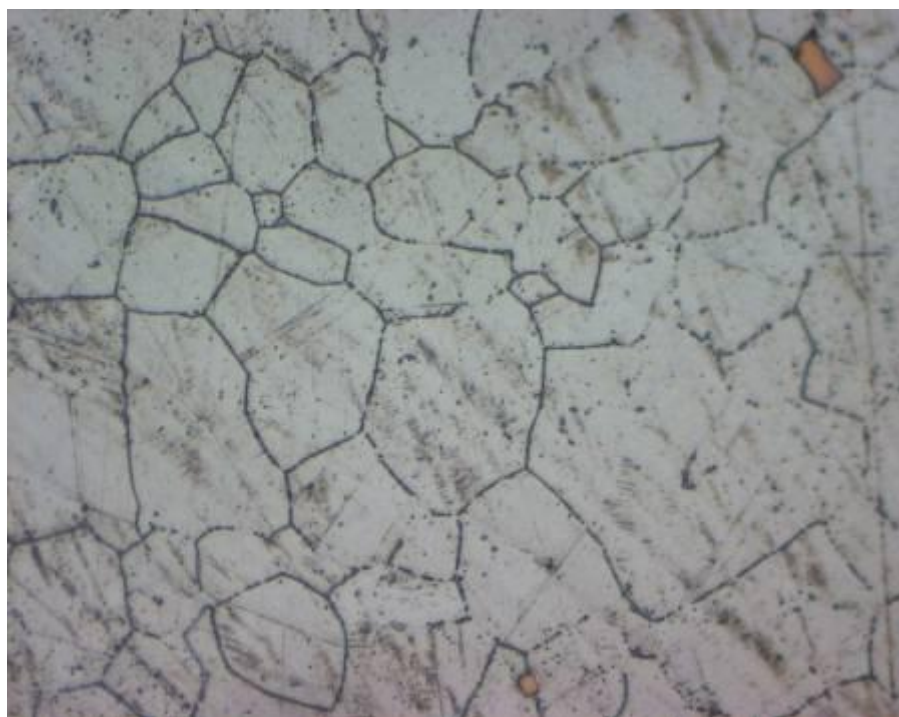
×500

Рисунок 2.12 Микроструктура литого ядра сварного соединения трубки и ребра жесткости



×500

Рисунок 2.13 Микроструктура материала ребра жесткости



×1000

Рисунок 2.14 Микроструктура материала ребра жесткости

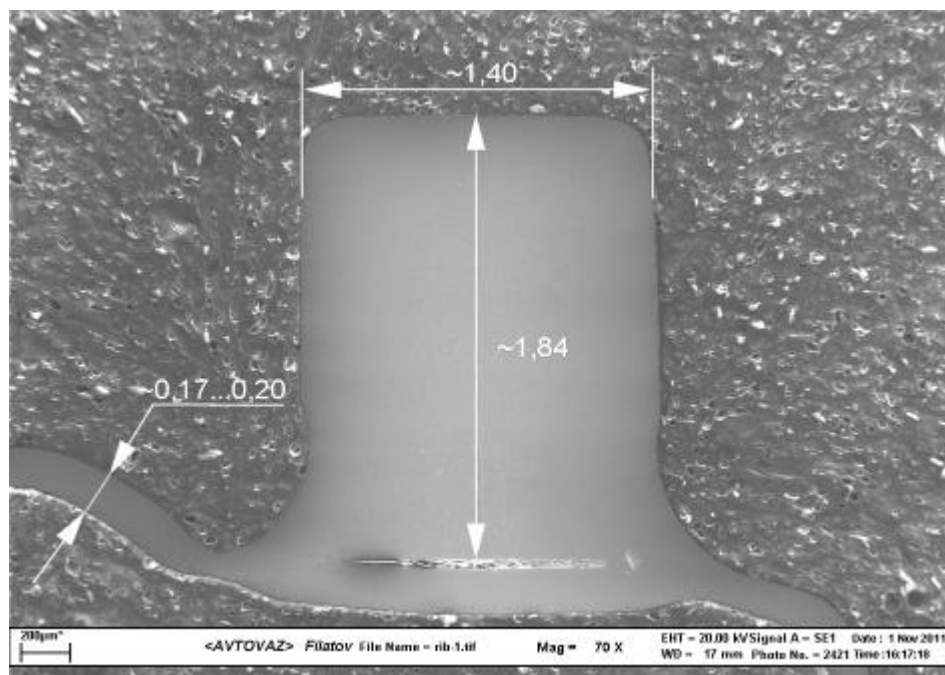


Рисунок 2.15 Геометрия трубки и ребра жесткости

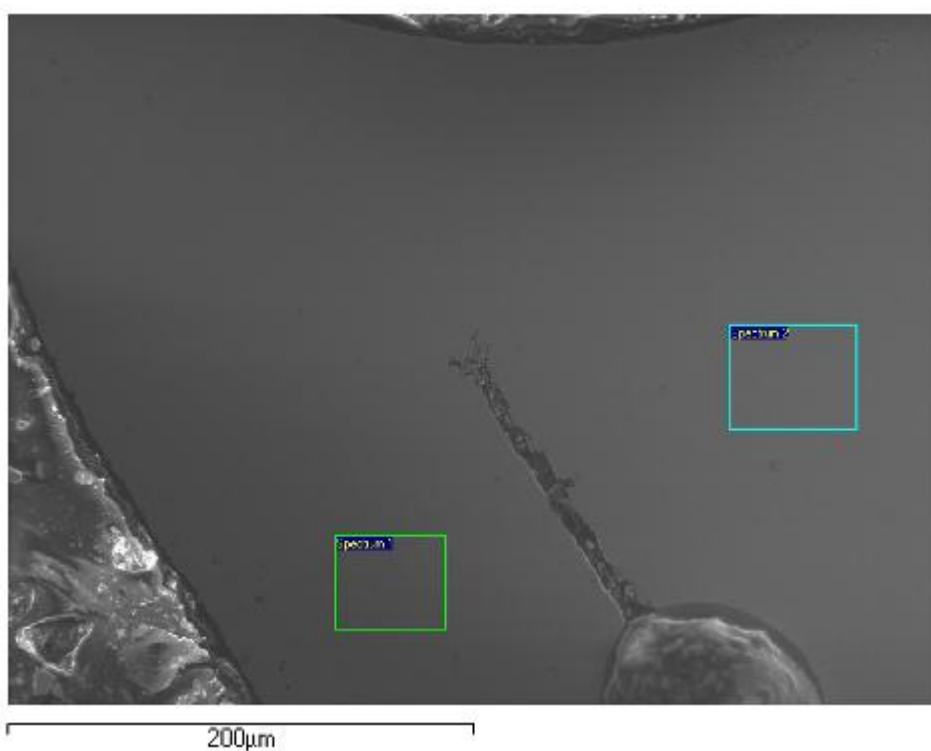
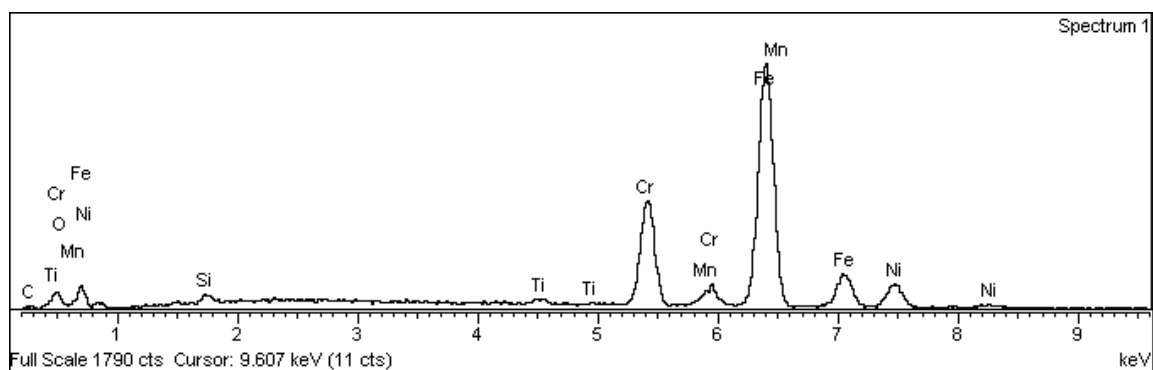
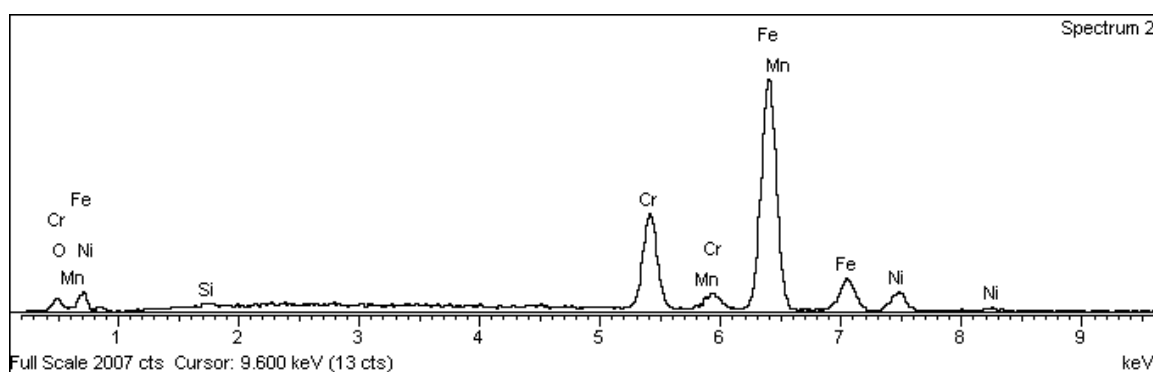


Рисунок 2.16 Электронно-микроскопическое изображение трубки и ребра жесткости. Квадратами обозначены зоны набора рентгеновских спектров: спектр № 1 – трубка, спектр № 2 – ребро жесткости



а)



б)

Рисунок 2.17 Рентгеновские спектры с зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.16: спектр № 1 – трубка, спектр № 2 – ребро жесткости

Таблица 2.2 – Результаты количественного рентгеноспектрального микроанализа зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.16 (данные факультативны)

Номер спектра	Содержание элементов, весовой %								Итого
	C	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	
Спектр № 1 (трубка)	2.69	2.38	0.86	0.60	16.94	0.85	65.54	10.14	100
Спектр № 2 (ребро жесткости)		1.97	0.45		16.54	1.06	70.87	9.11	100

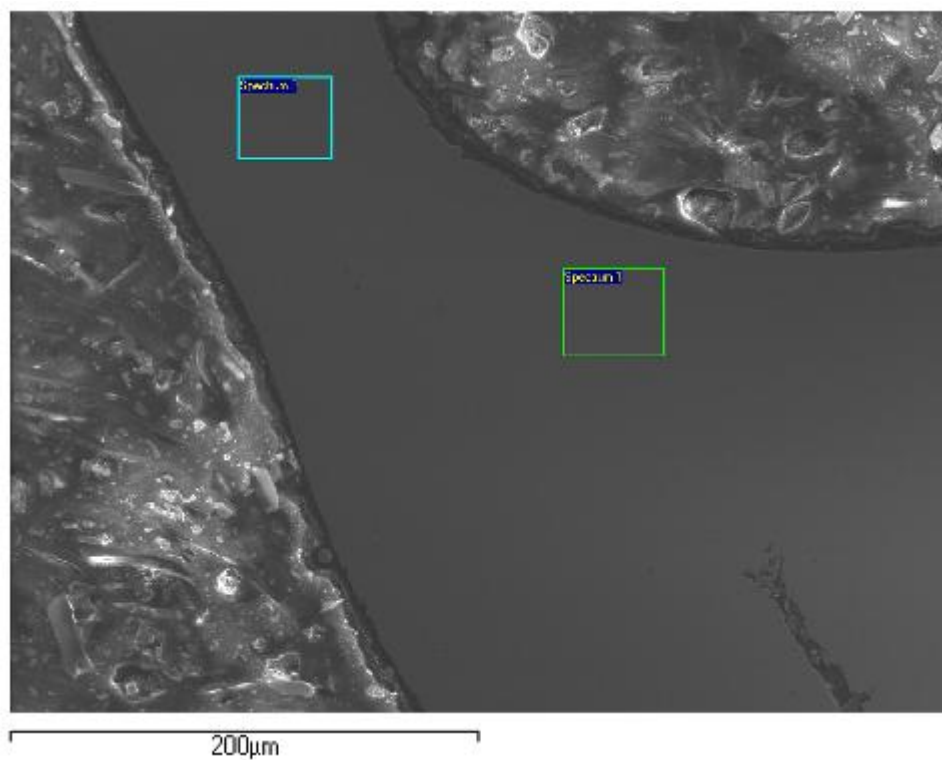
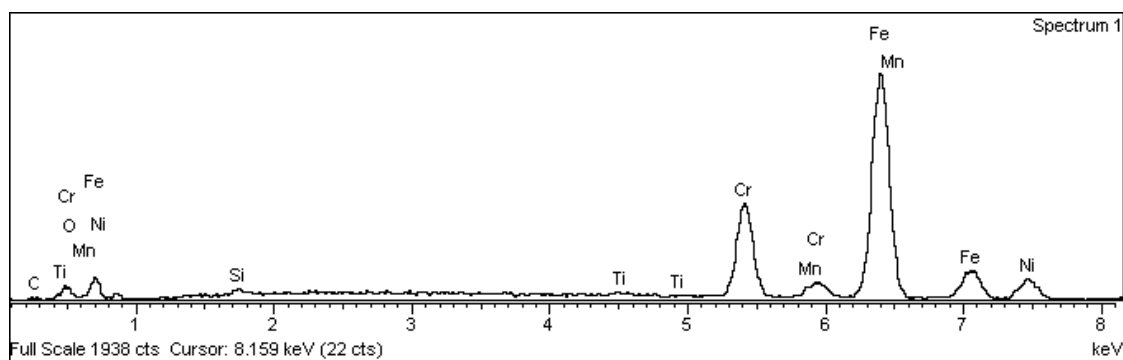
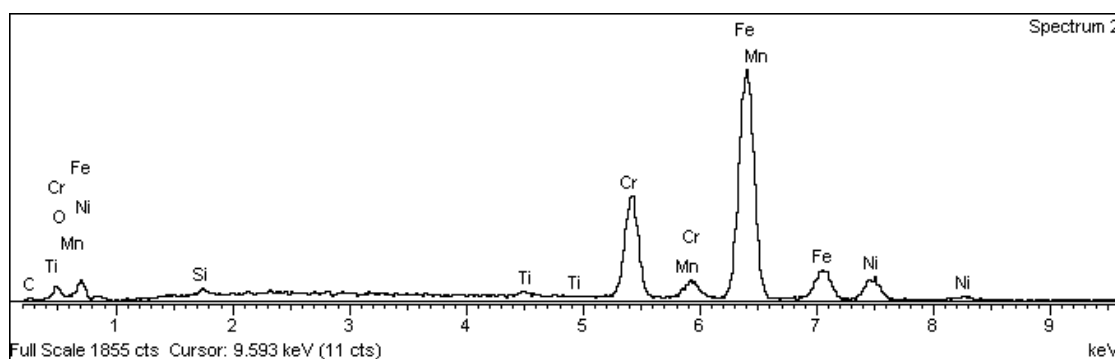


Рисунок 2.18 Электронно-микроскопическое изображение трубы и ребра жесткости. Квадратами обозначены зоны набора рентгеновских спектров: спектр № 1 – зона сварки, спектр № 2 – трубка



a)



б)

Рисунок 2.19 Рентгеновские спектры с зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.18: спектр № 1 – зона сварки, спектр № 2 – трубка

Таблица 2.3 – Результаты количественного рентгеноспектрального микроанализа зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.18 (данные факультативны)

Номер спектра	Содержание элементов, весовой %								Итого
	C	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	
1	2.54	2.12	0.48	0.44	16.38	0.82	68.12	9.09	100
2	2.06	1.97	0.65	0.57	17.11	1.28	67.00	9.37	100

Для исследования сварного шва на внутренней поверхности был вырезан образец из основной части стержня, рисунок 2.20.

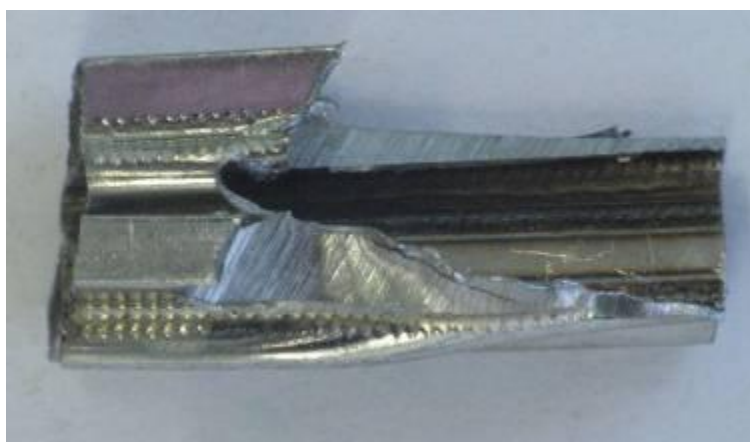


Рисунок 2.20 Образец для исследования внутренней поверхности сварного шва в основной части стержня

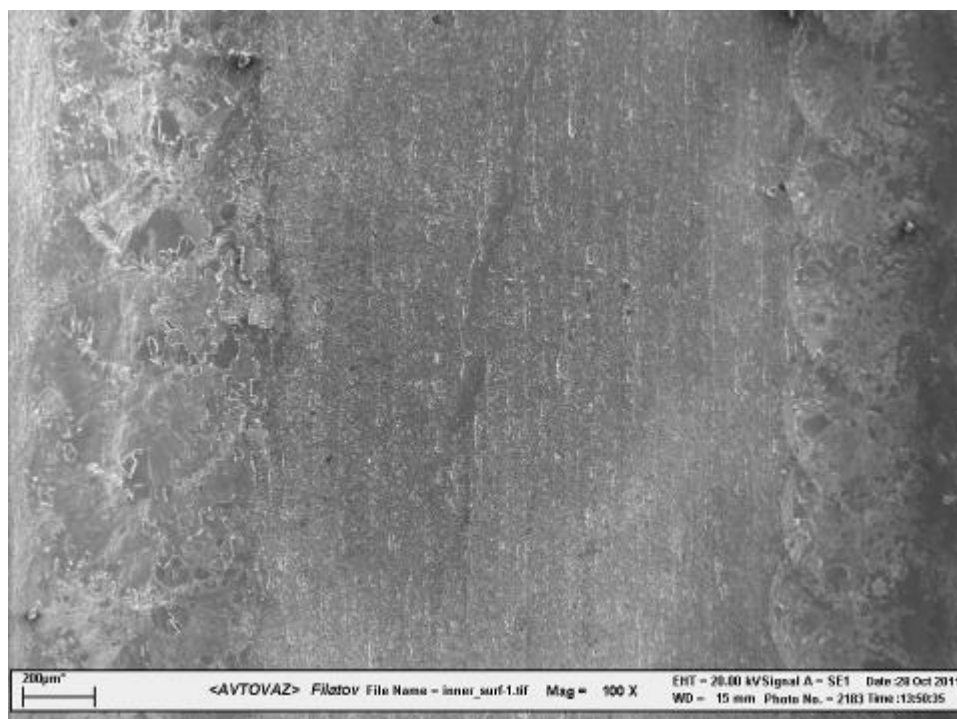


Рисунок 2.21 Электронно-микроскопическое изображение внутренней поверхности трубы

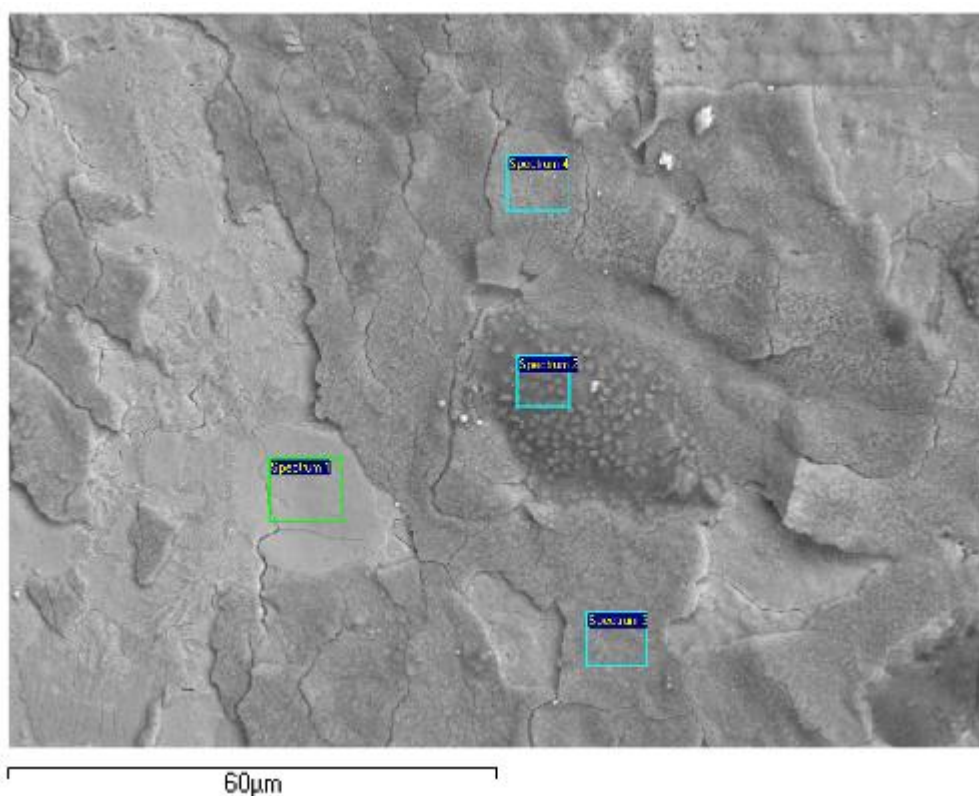
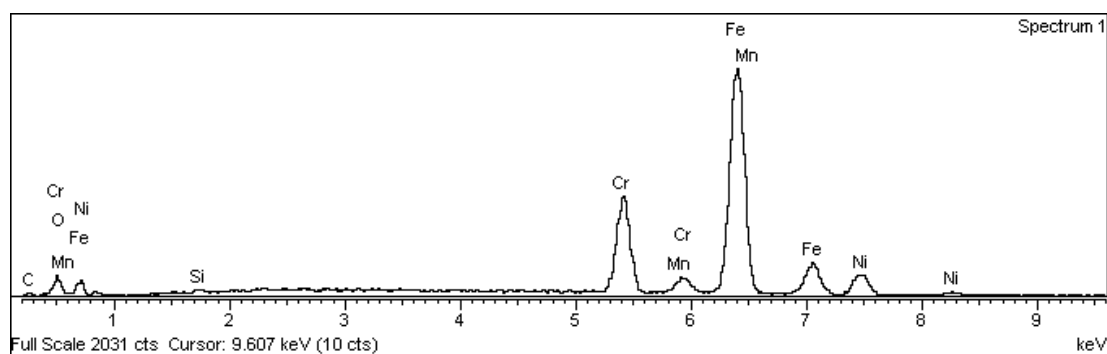
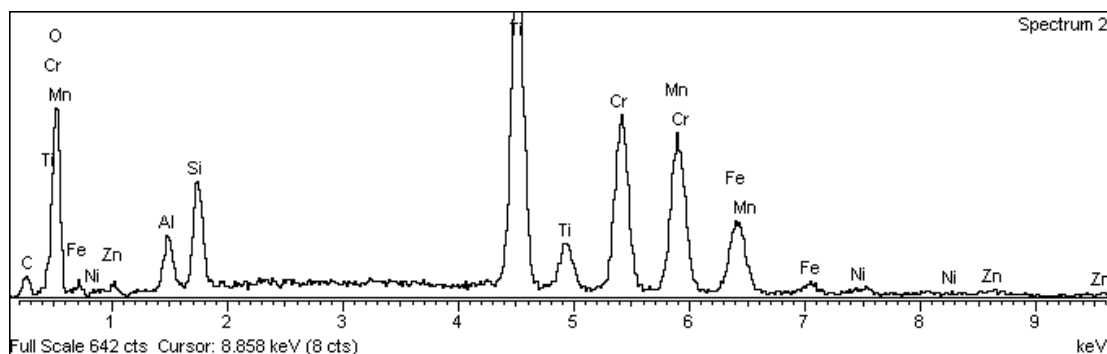


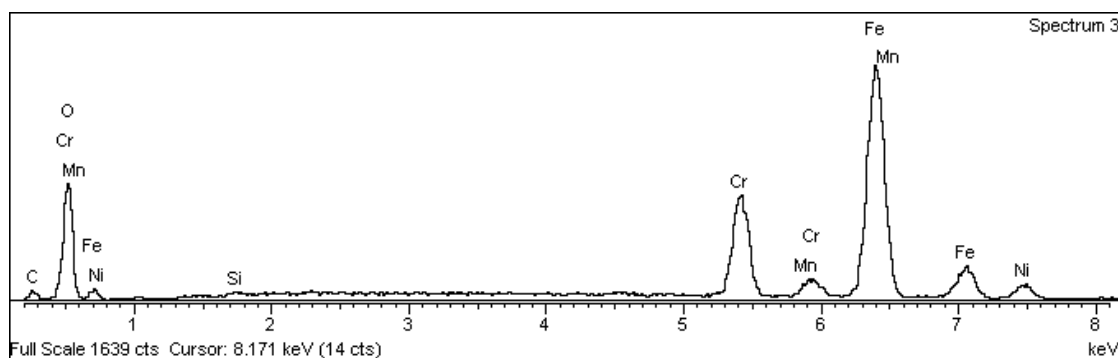
Рисунок 2.22 Электронно-микроскопическое изображение внутренней поверхности трубы в зоне сварного шва. Квадратами обозначены зоны набора рентгеновских спектров



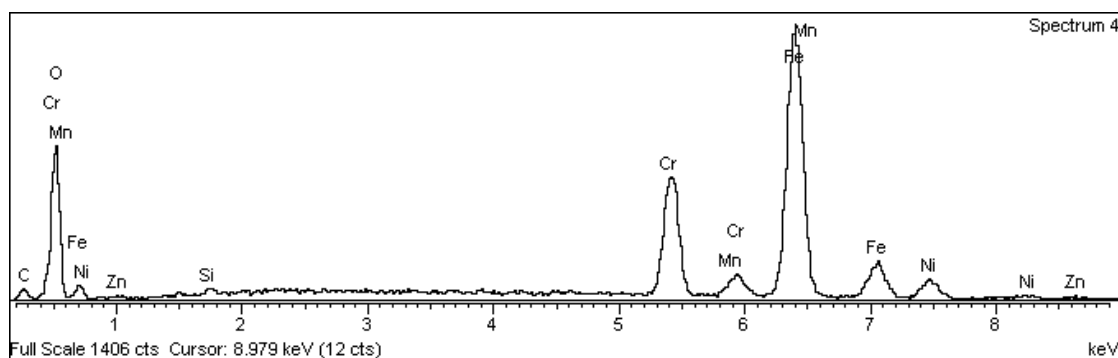
a)



б)



в)



г)

Рисунок 2.23 Рентгеновские спектры с зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.22: а) спектр № 1; б) спектр № 2; в) спектр № 3; г) спектр № 4

Таблица 2.4 – Результаты количественного рентгеноспектрального микроанализа зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.22

(данные факультативны)

№ спектра	Содержание элементов, весовой %										Итого
	C	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	
1	2,65	3,36		0,32		16,03	0,94	66,76	9,94		100
2	5,36	31,08	1,99	3,83	19,62	13,80	14,20	8,17	0,79	1,17	100
3	5,25	18,09		0,32		14,28	0,92	56,01	5,13		100
4	5,19	19,77		0,41		14,34	0,82	53,17	5,37	0,94	100

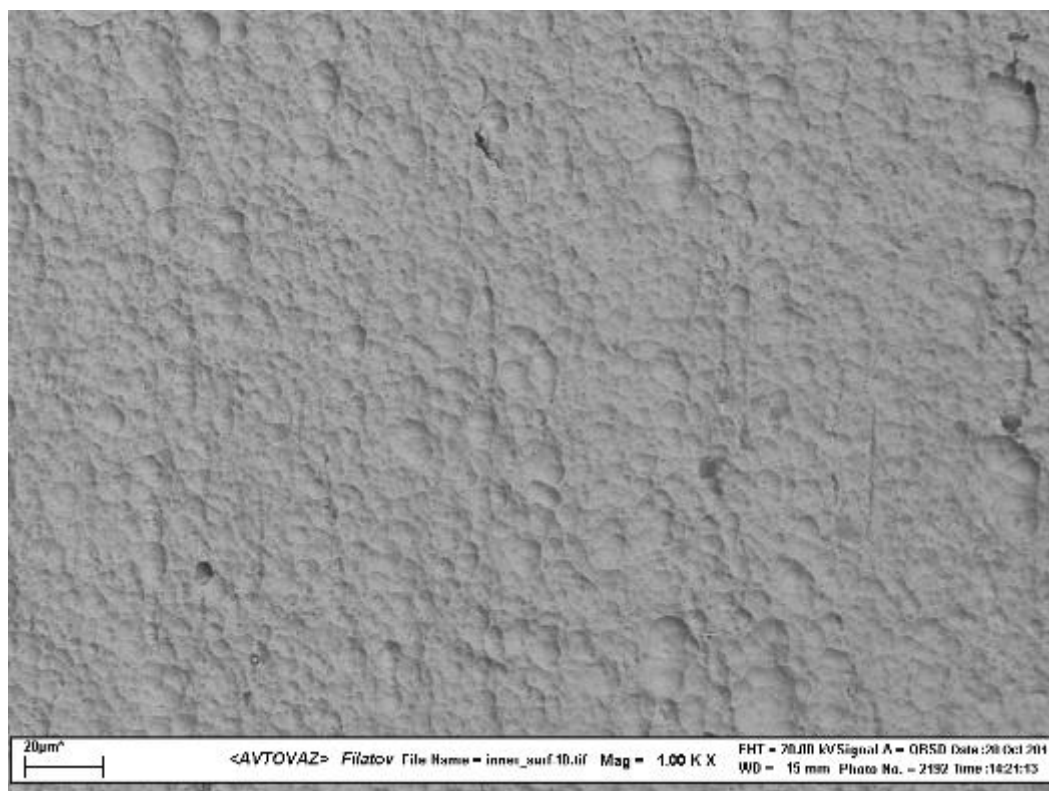


Рисунок 2.24 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внутренней поверхности трубки

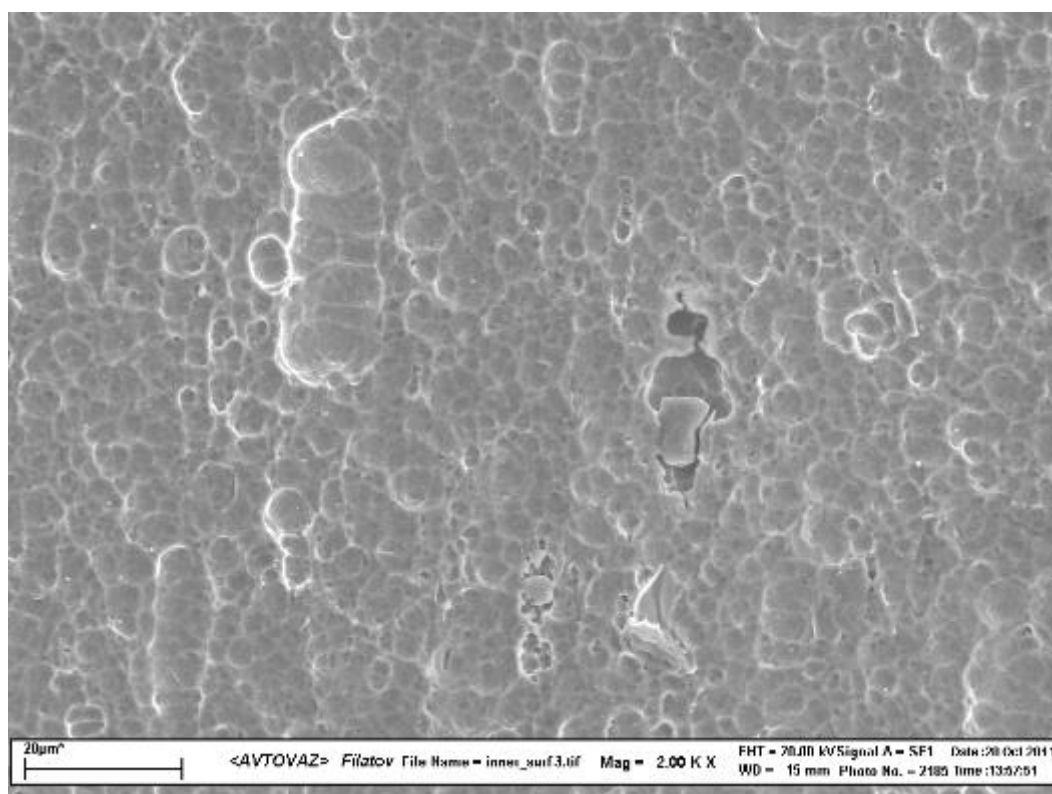


Рисунок 2.25 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внутренней поверхности трубы

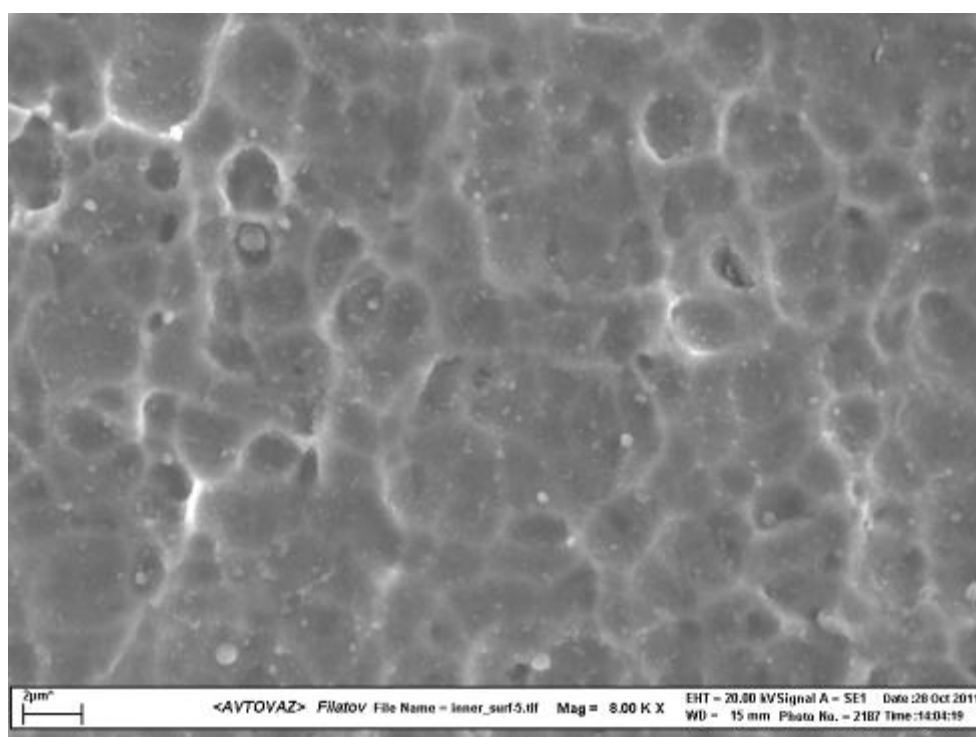


Рисунок 2.26 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внутренней поверхности трубы

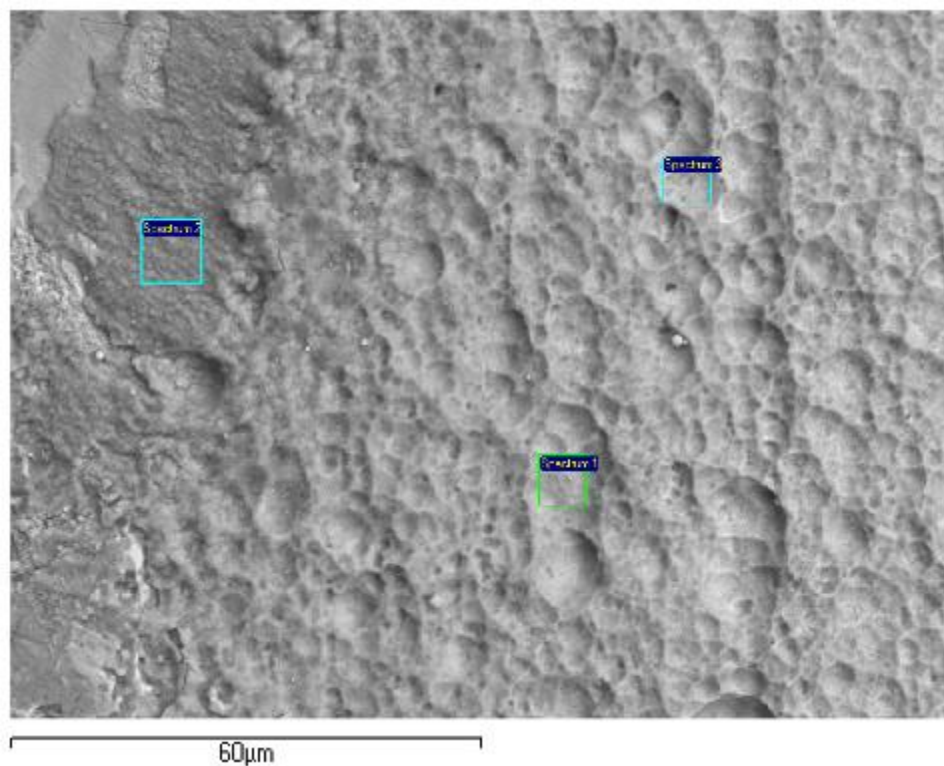
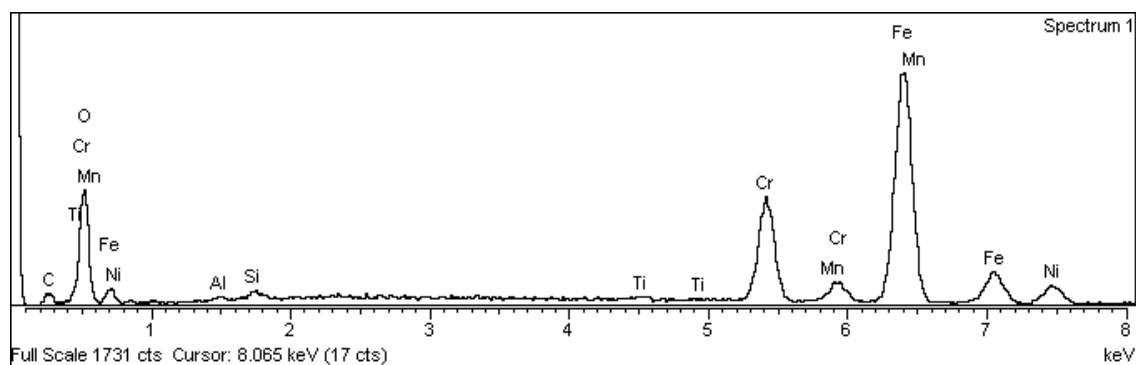
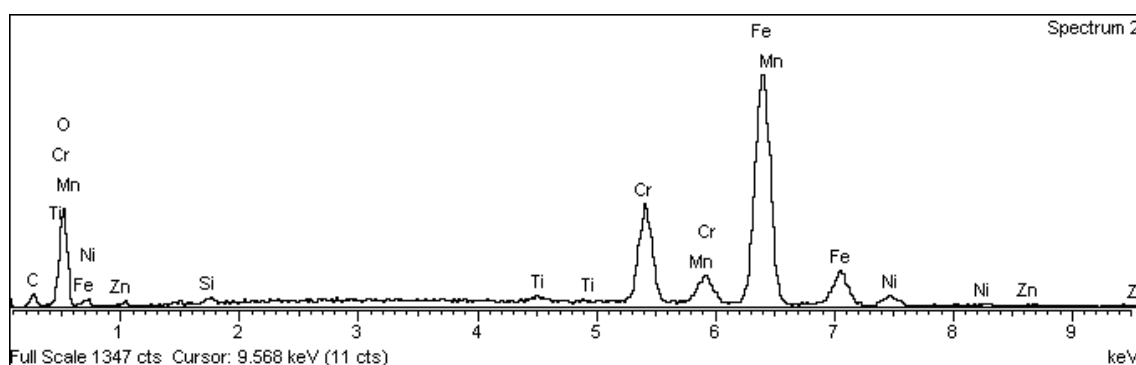


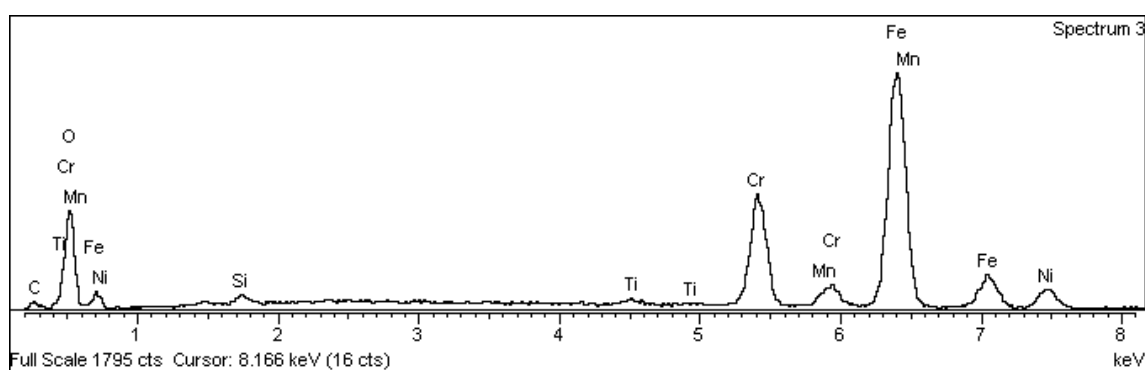
Рисунок 2.27 Электронно-микроскопическое изображение внутренней поверхности трубы вблизи сварного шва. Квадратами обозначены зоны набора рентгеновских спектров



а)



б)

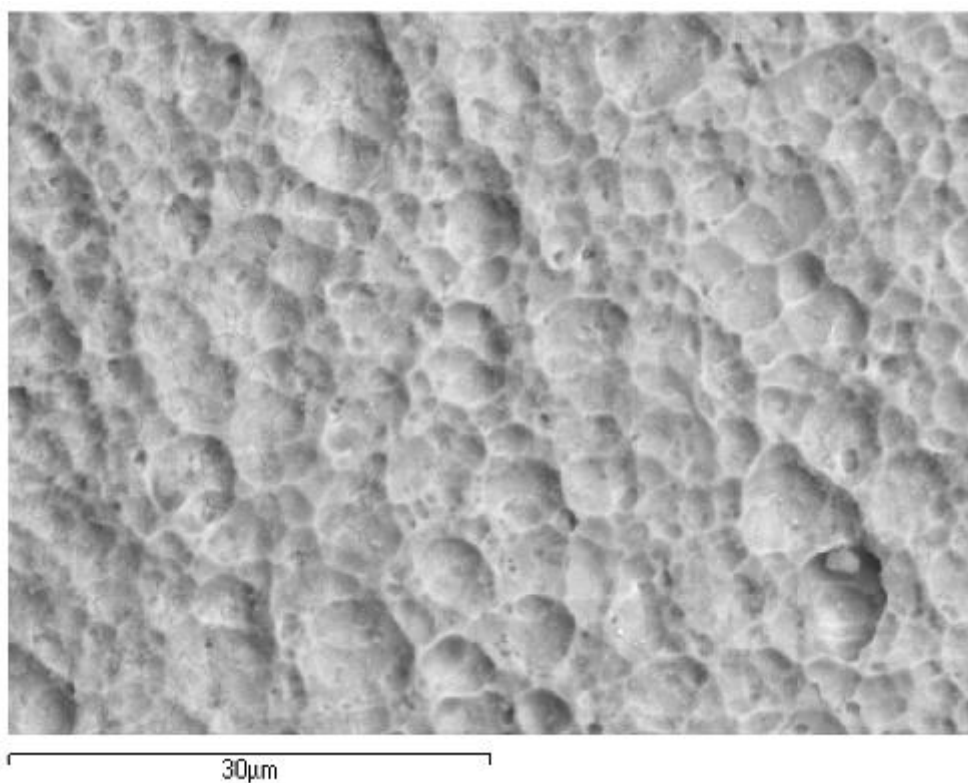


в)

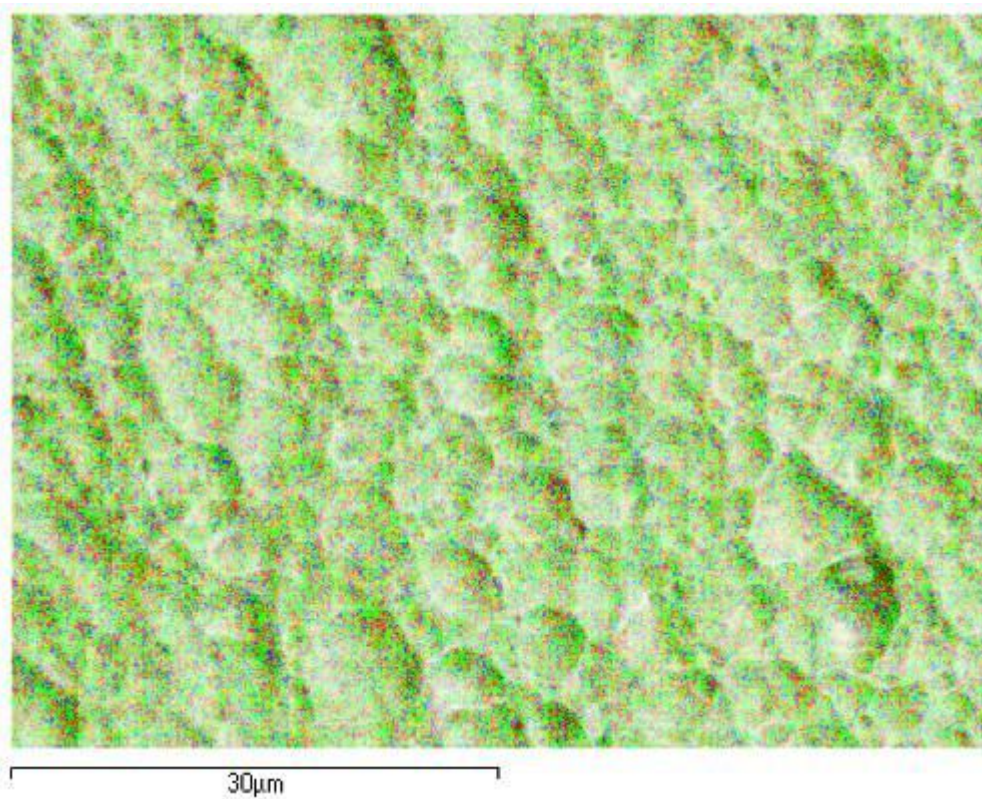
Рисунок 2.28 Рентгеновские спектры с зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.27: а) спектр № 1; б) спектр № 2; в) спектр № 3

Таблица 2.5 Результаты количественного рентгеноспектрального микроанализа зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.27 (данные факультативны)

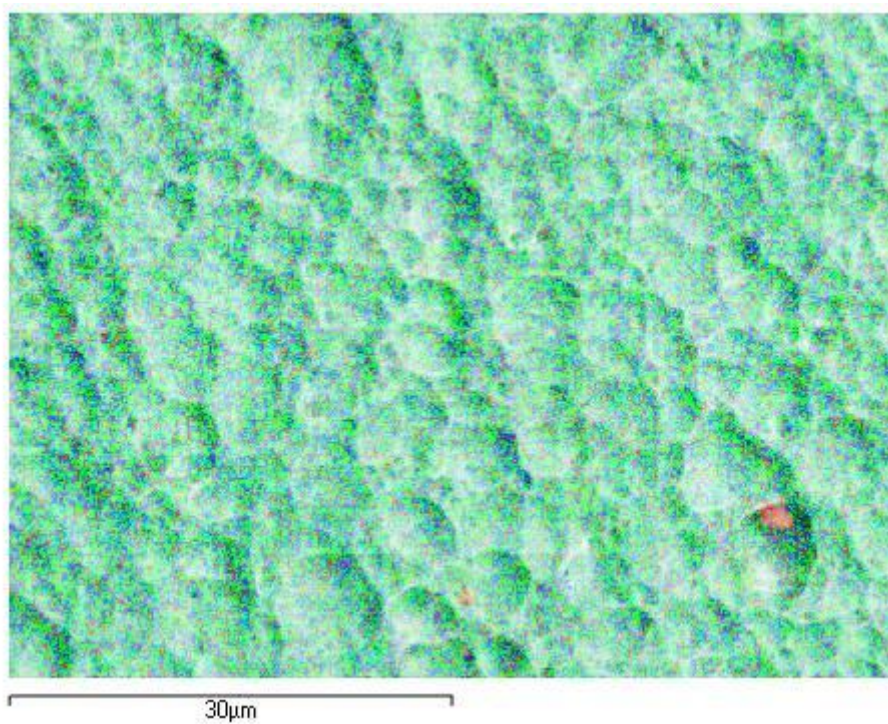
№ спектра	Содержание элементов, весовой %										Итого
	C	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	
1	6,11	17,84	0,34	0,57	0,38	13,80	1,43	53,03	6,51		0
2	6,53	16,33		0,53	0,52	12,96	3,26	55,83	3,62	0,42	0
3	4,47	15,69		0,65	0,48	14,89	1,74	54,97	7,10		0



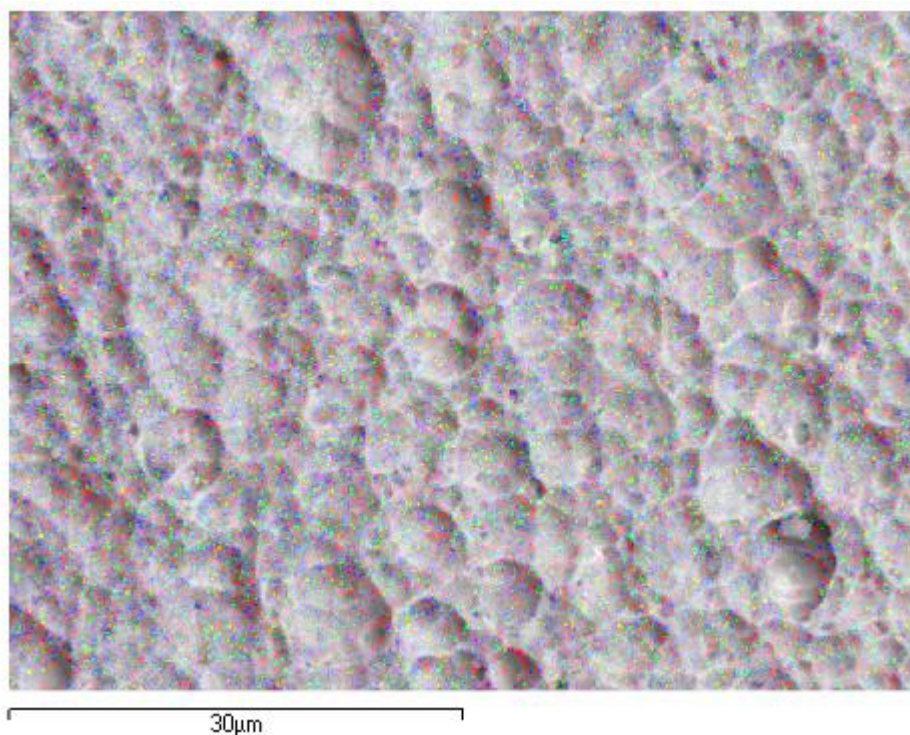
а) исходное изображение



б) соответствие цвета элементам: Cr – красный; Fe – зеленый;
Ni – синий

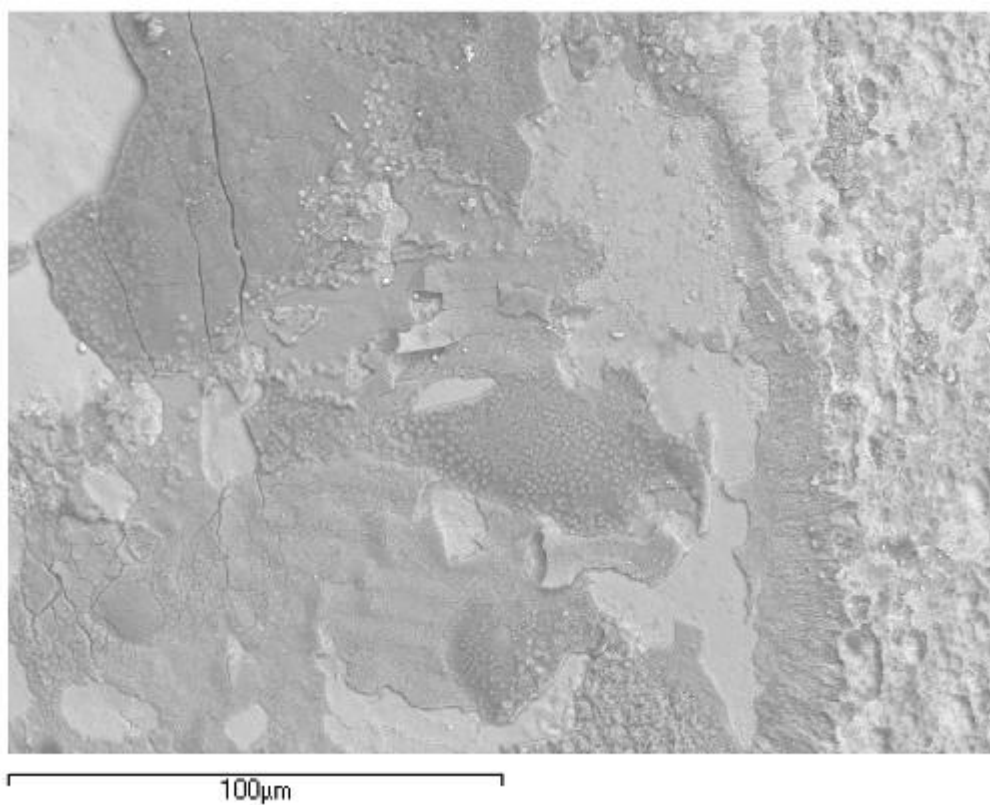


в) соответствие цвета элементам: Ti – красный; Fe –зеленый;
Cr – синий

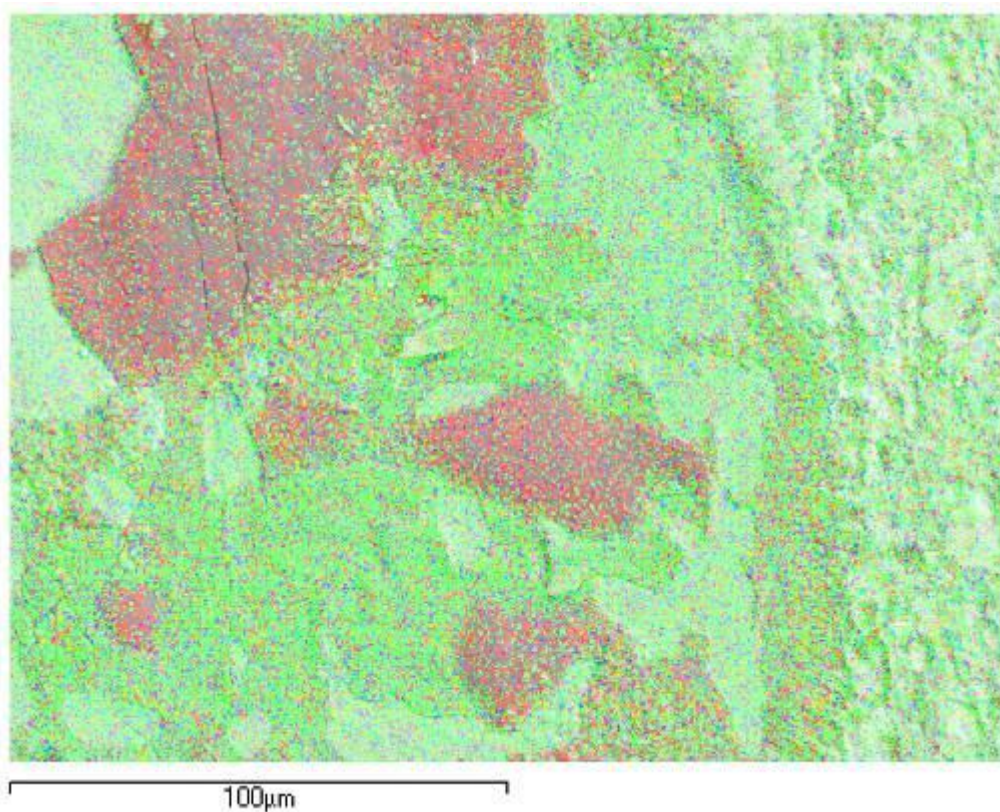


г) соответствие цвета элементам: Mn – красный; Si –зеленый;
O – синий

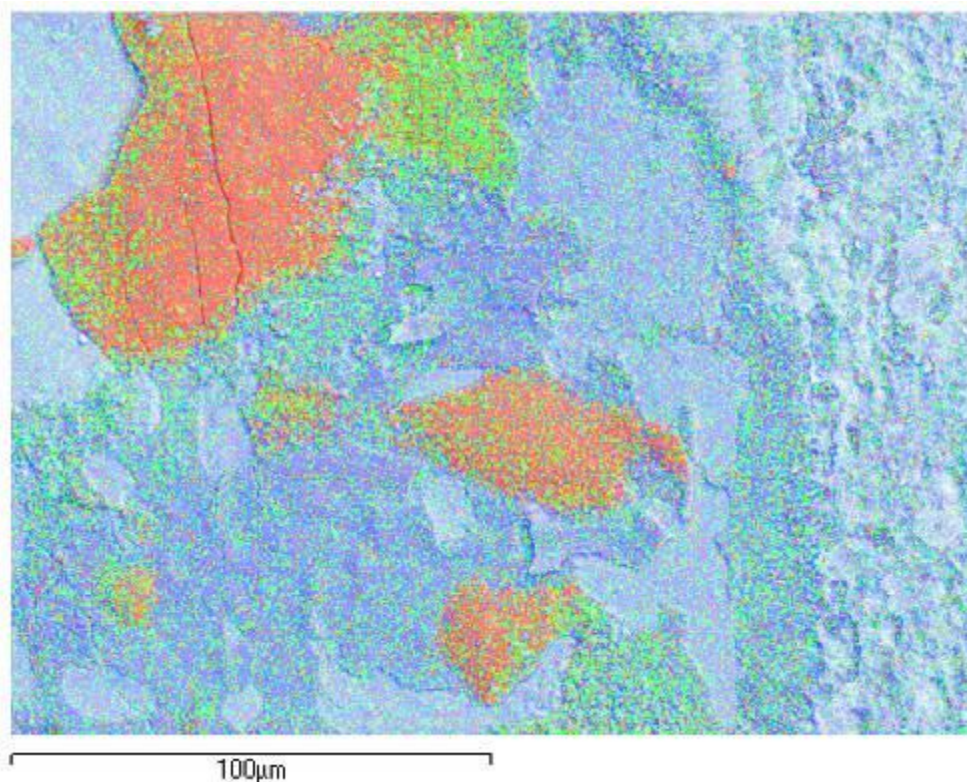
Рисунок 2.29 Цветокodированная карта распределения химических элементов участка внутренней поверхности трубки



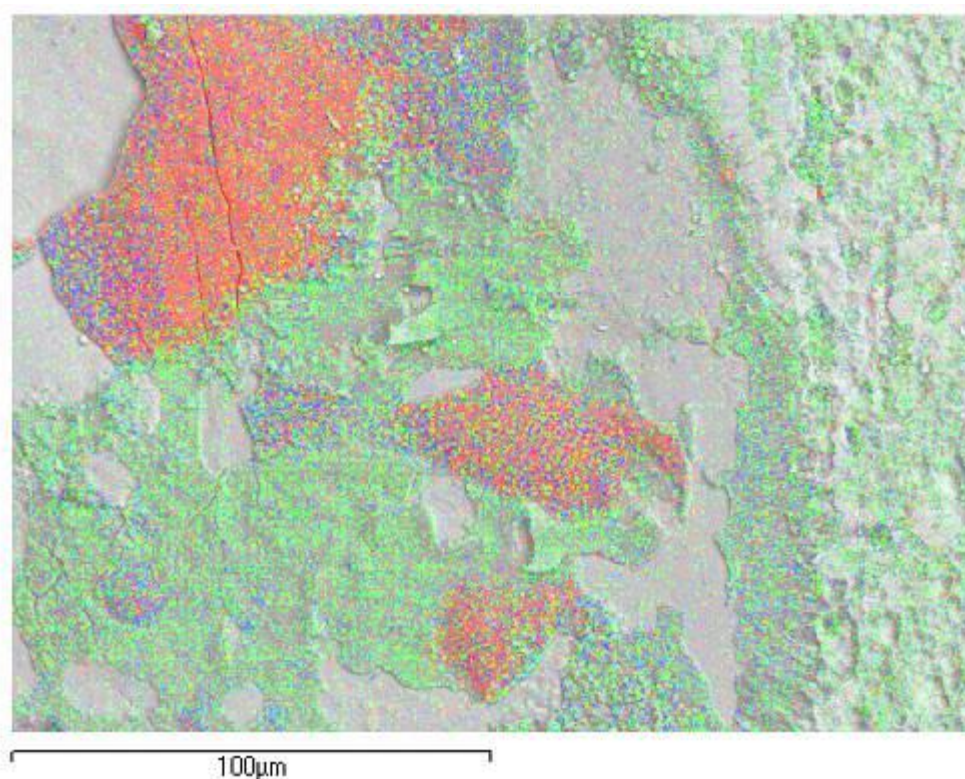
а) исходное изображение



б) соответствие цвета элементам: Mn – красный; Fe –зеленый;
Ni – синий

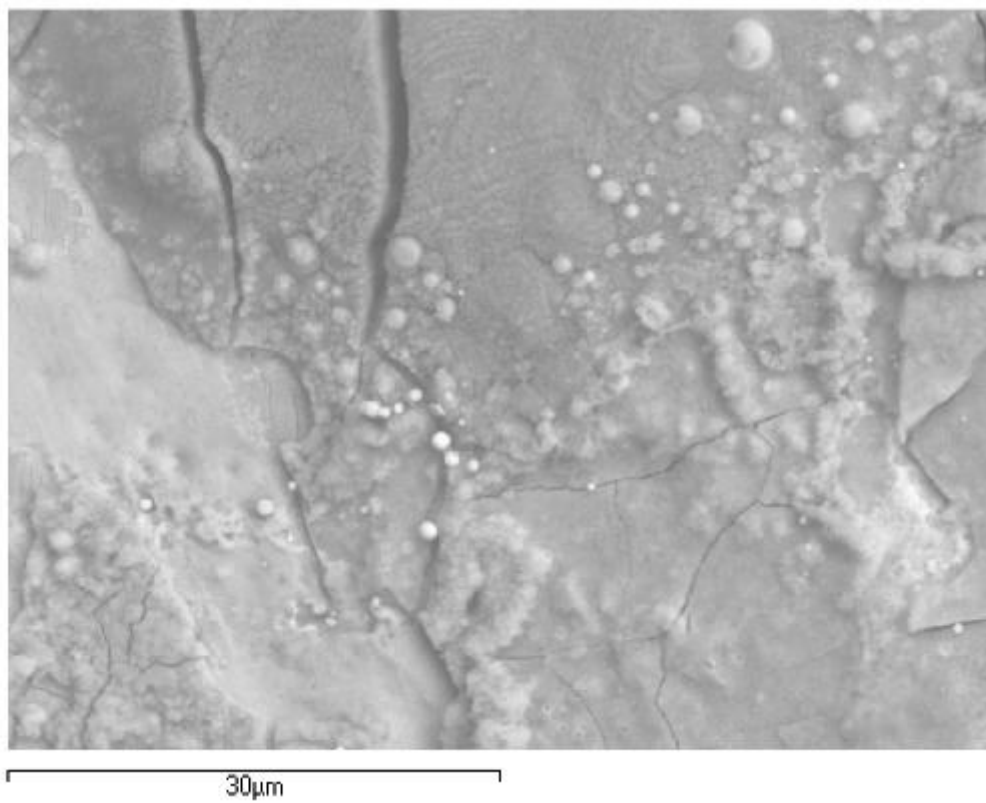


в) соответствие цвета элементам: Ti – красный; Cr –зеленый; Fe – синий

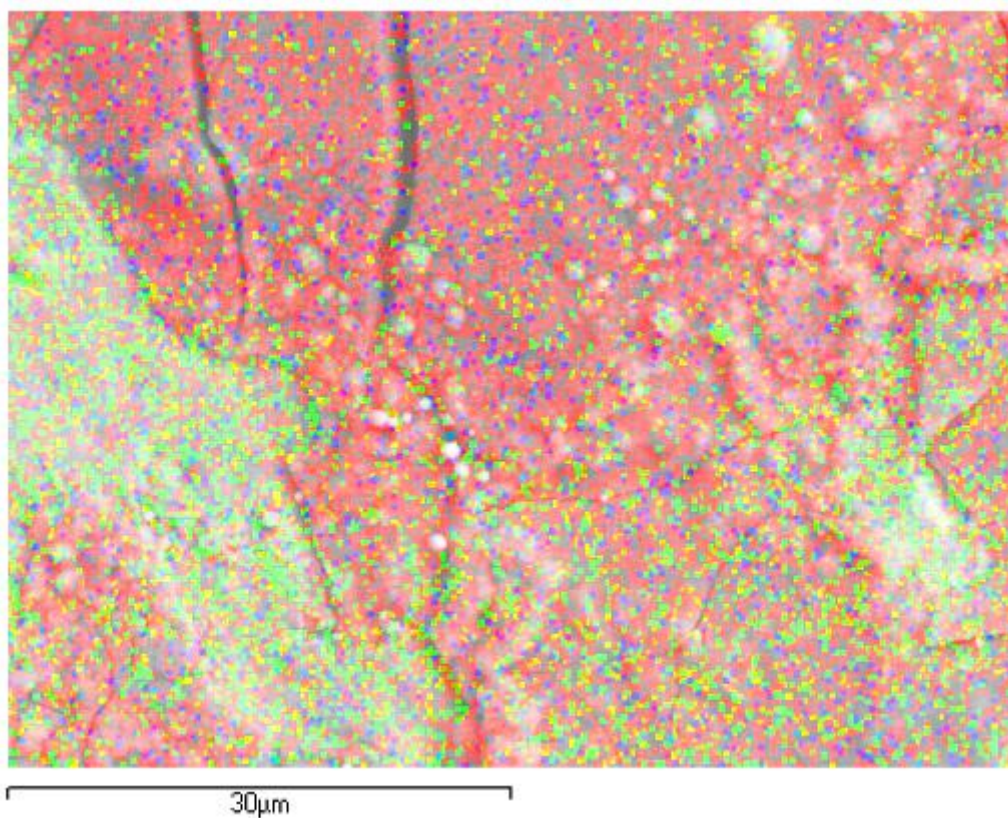


г) соответствие цвета элементам: Ti – красный; O –зеленый; Si – синий

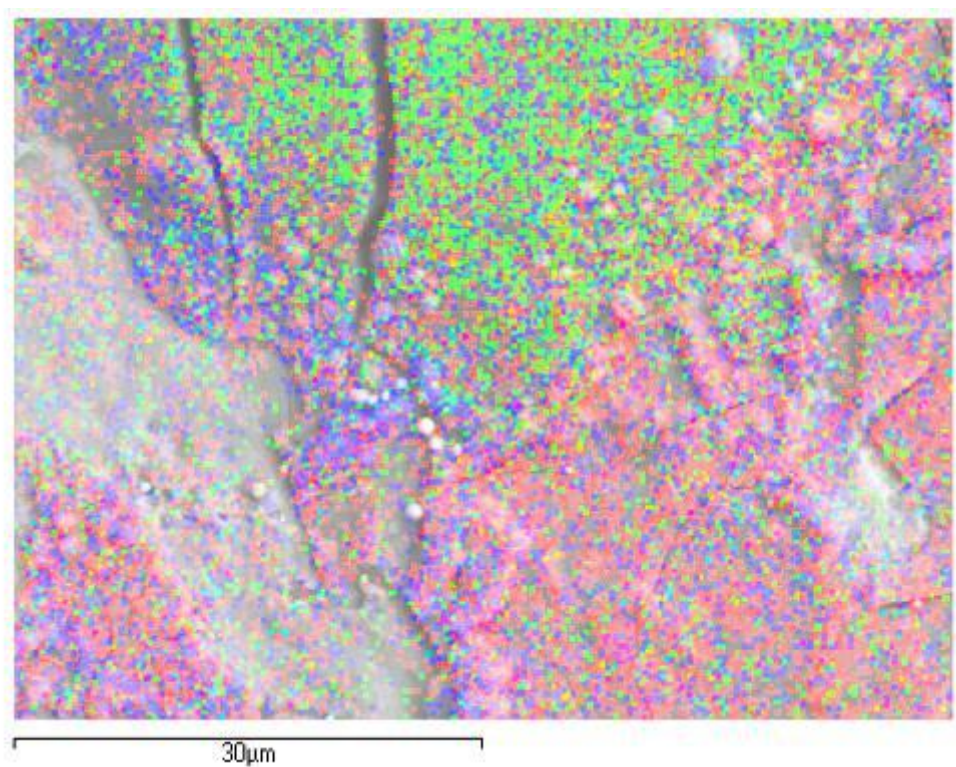
Рисунок 2.30 Цветокodированная карта распределения химических элементов участка внутренней поверхности трубки в зоне сварного шва



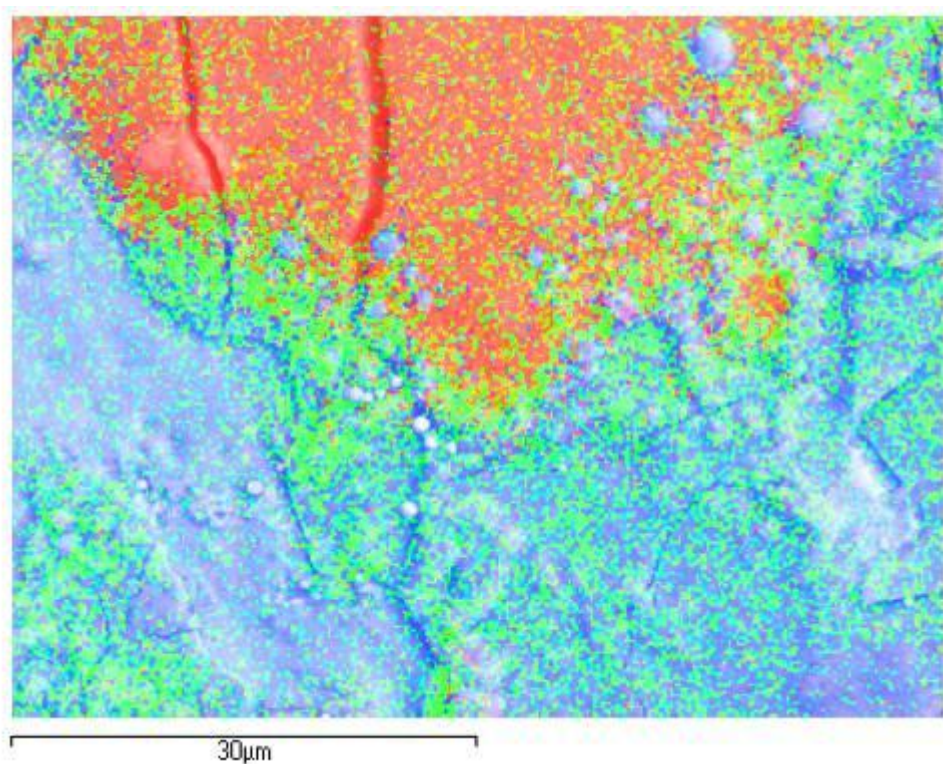
а) исходное изображение



б) соответствие цвета элементам: Mn – красный; Ni –зеленый;
Zn – синий



в) соответствие цвета элементам: О – красный; Al –зеленый; Si – синий



г) соответствие цвета элементам: Ti – красный; Cr –зеленый; Fe – синий

Рисунок 2.31 Цветокodированная карта распределения химических элементов участка внутренней поверхности трубки в зоне сварного шва

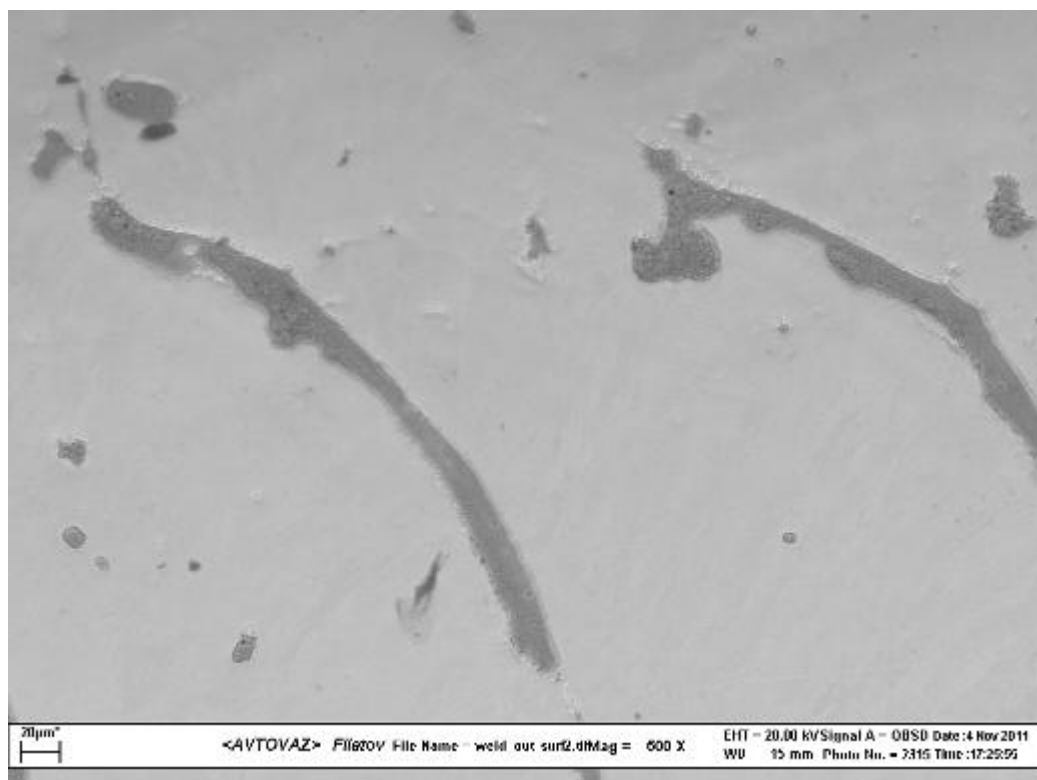


Рисунок 2.32 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внешней поверхности трубы в зоне сварного шва

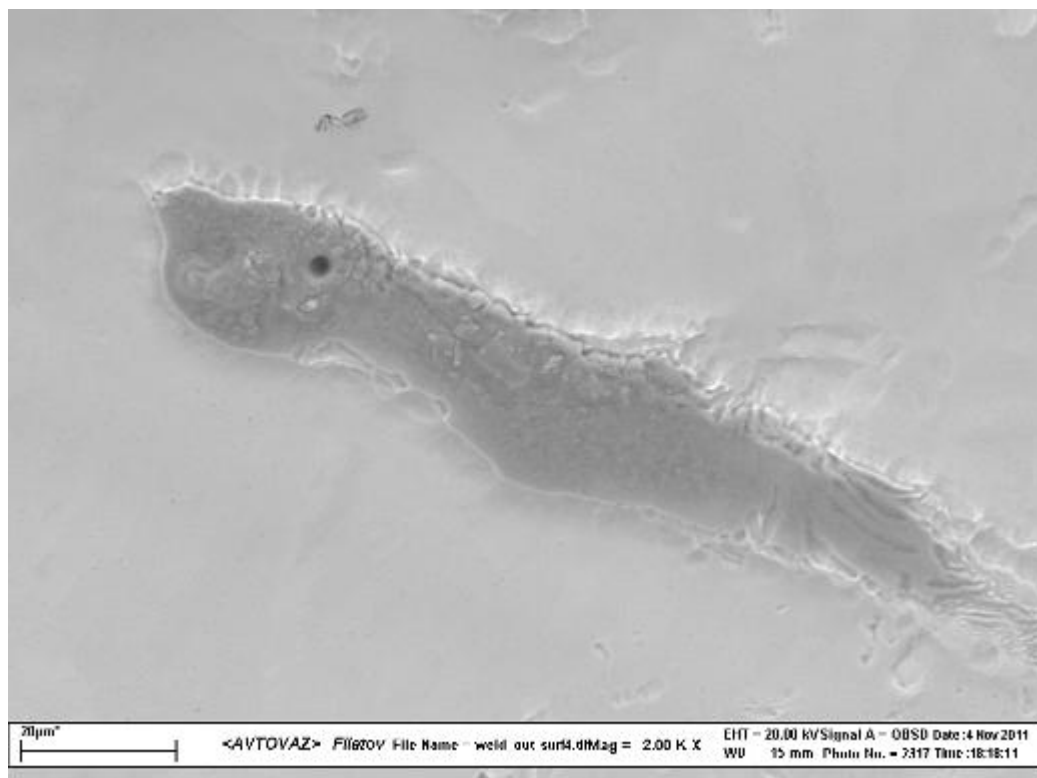


Рисунок 2.33 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внешней поверхности трубы в зоне сварного шва



Рисунок 2.34 Электронно-микроскопическое изображение морфологии внешней поверхности трубки в зоне сварного шва

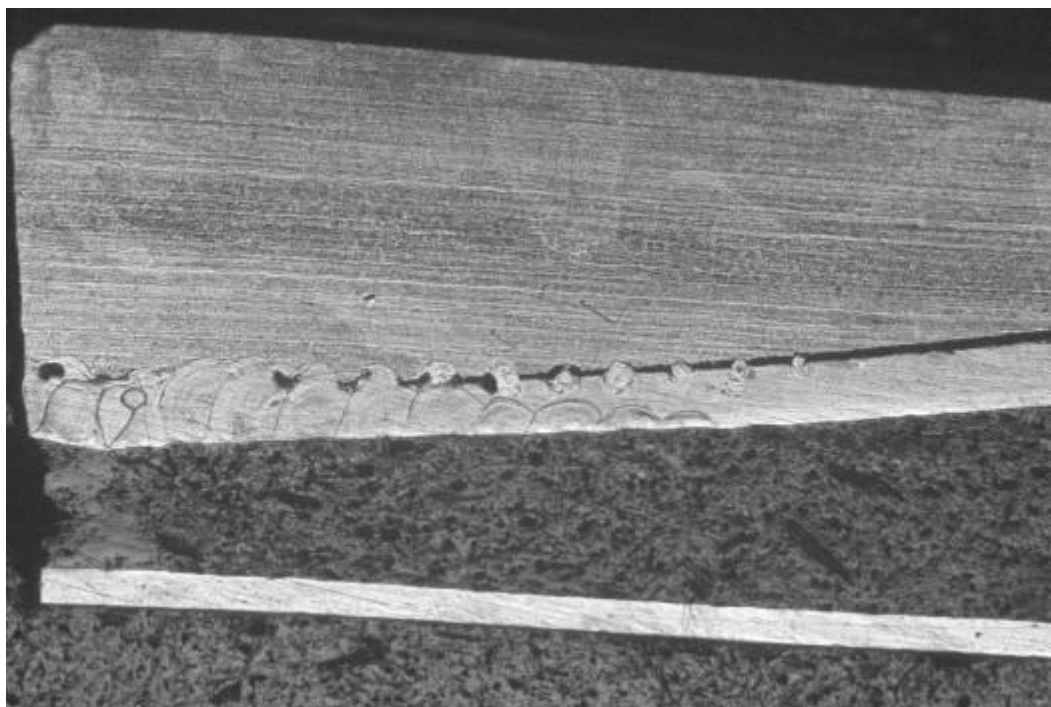


Рисунок 2.35 Макроструктура сварного соединения наконечника с трубкой основной части

×25

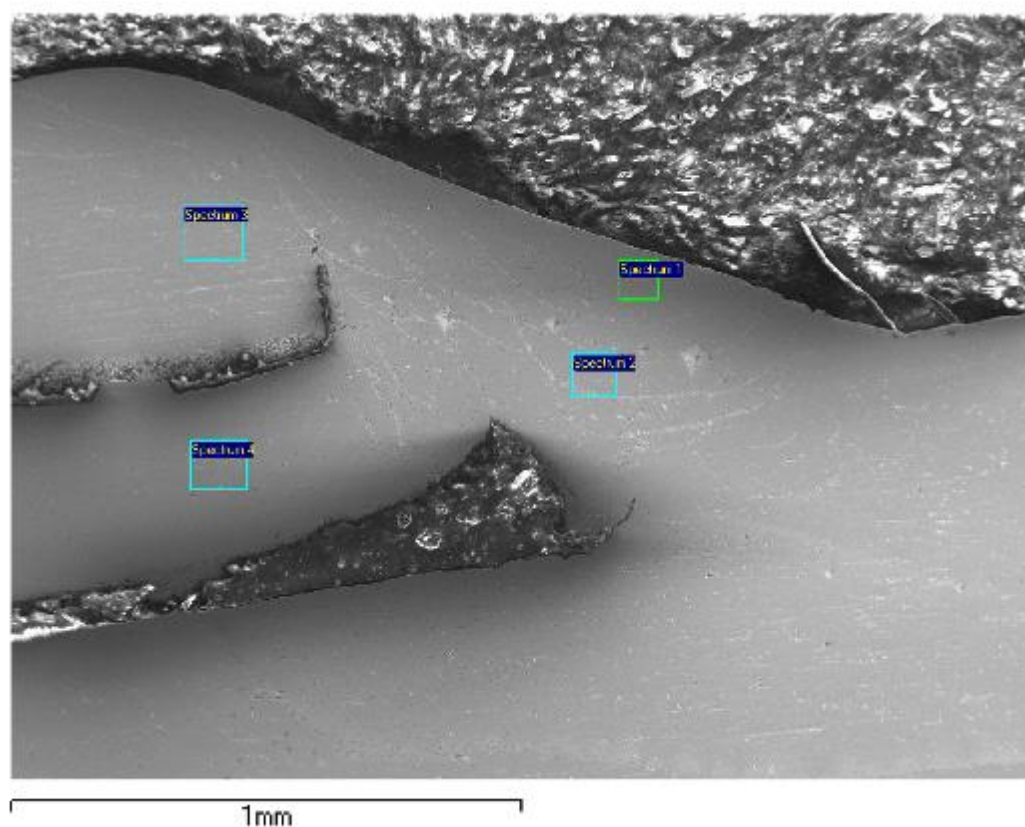
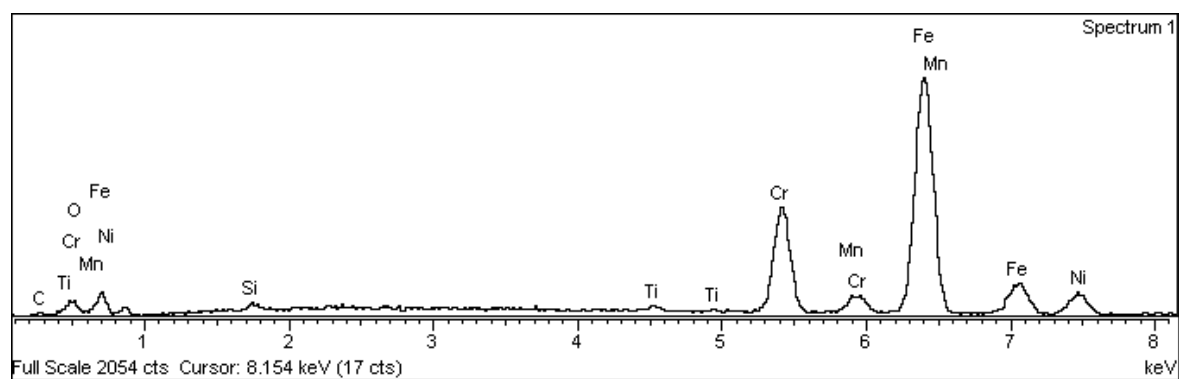
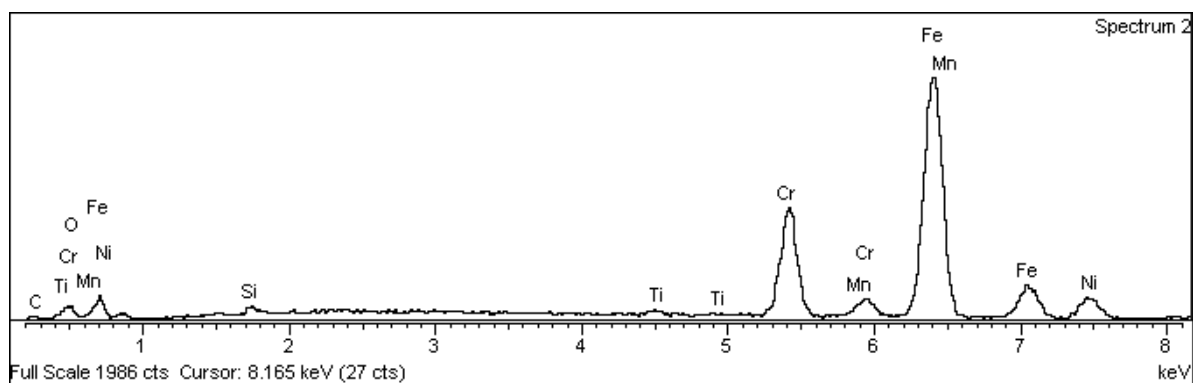


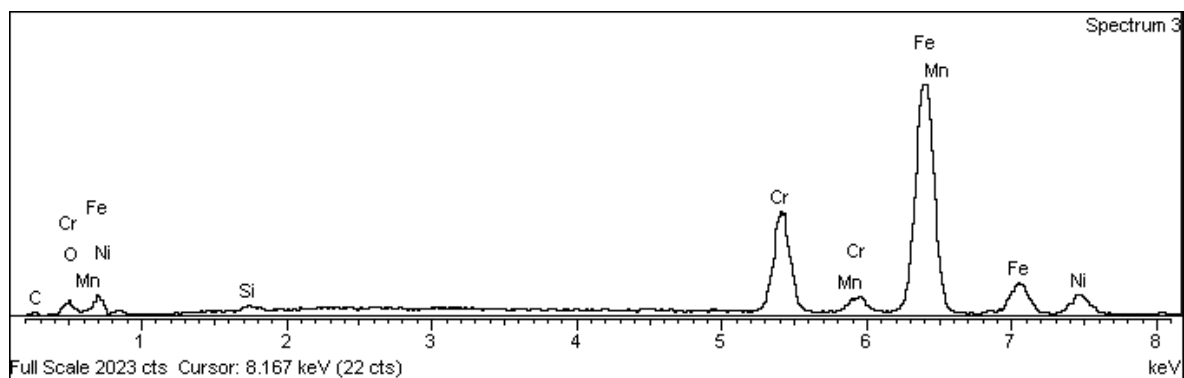
Рисунок 2.36 Электронно-микроскопическое изображение зоны сварного соединения наконечника с трубкой основной части. Квадратами обозначены зоны набора рентгеновских спектров



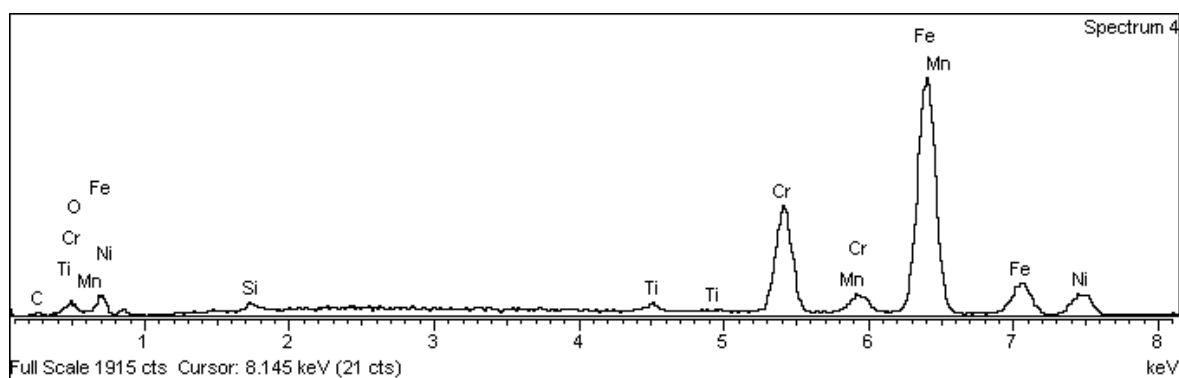
a)



б)



в)



г)

Рисунок 2.37 Рентгеновские спектры с зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.36: а) спектр № 1; б) спектр № 2; в) спектр № 3; г) спектр № 4

Таблица 2.6 – Результаты количественного рентгеноспектрального микроанализа зон, обозначенных квадратами на рисунке 2.37
(данные факультативны)

№ спектра	Содержание элементов, весовой %								Итого
	C	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	
1	2,74	2,29	0,71	0,57	17,16	1,02	66,44	9,08	100
2	2,83	1,81	0,66	0,47	16,97	0,89	67,15	9,21	100
3	2,34	2,11	0,43	0,46	16,69	0,83	68,89	8,71	100
4	2,63	1,64	0,74	0,86	17,04	1,19	66,43	9,46	100

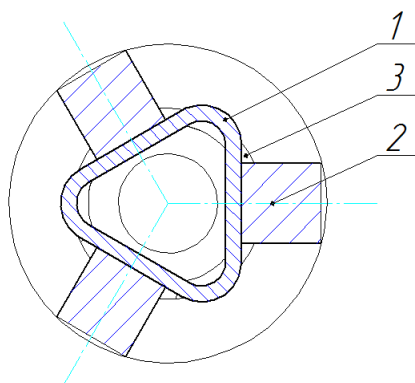
3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Технологический процесс изготовления тонкостенных оболочек включает в себя операции фрезерования, точения, сверления, нарезания резьбы и др. Но самым трудным является сборка готового изделия. Соединение деталей выполняется сваркой. Такое соединение повышает общую жесткость конструкции, а также позволяет нагнетать в рабочую полость оболочки гораздо большее давление, чем, если бы соединение в оболочке было выполнено другим способом. Готовых решений и технологий сварки, которые можно было бы использовать для сборки подобных оболочек не предлагается ни отечественными производителями, ни зарубежными компаниями.

Предварительно был проведен анализ возможности использования непрерывного сварочного луча. Он показал, что для наших условий этот вариант не является предпочтительным. Свариваемые заготовки маложесткие и требуют обеспечения ограниченного нагрева в зоне сварки, в противном случае возможны значительные температурные поводки и коробление. Оптимальным является вариант сварки лазером при помощи импульсных источников.

Применительно к условиям сборки рассматриваемого стержня лазерная сварка производится с частичным проплавлением. Сварные швы одинаково хорошо формируются в любом пространственном положении.

Основной сложностью, возникающей при сварке элементов изделия, является сварка компонентов сборки с различной толщиной. На рисунке 3.1 приведена схема сварки наиболее сложного соединения – трубки 1 и ребра 2 оболочки.



1 – трубка; 2 – ребро; 3 – сварной шов.

Рисунок 3.1 Схема сварки трубки стержня и ребра оболочки

Так как толщина ребра равна 1,8 мм, а толщина трубки равна 0,2 мм, при обычной сварке трубка проплавляется, происходит прожог. Чтобы снизить разницу в условиях нагрева и плавления сопрягаемых деталей, толщину ребра в месте стыка уменьшили, выполнив на нем технологический бурт. При лазерной сварке нагрев и плавление материалов наконечников, ребер и трубки происходит так быстро, что деформация тонкой кромки не успевает произойти до того, как металл затвердеет. Это позволило отработать технологию сварки трубки и наконечников оболочки «внахлест». При этом при плавлении тонкой кромки (трубки) и участка массивной детали (участок ребра), над последней образуется общая сварочная ванна 3 (рис. 3.1).

Сварка деталей выполняется в защитной среде аргона. Использование инертного газа обеспечивает отсутствие оксидов на поверхности шва. Оксиды влияют на коррозионную стойкость всей конструкции в целом, что является отрицательным фактором работоспособности конструкции. Для сварки наконечников оболочек газовое сопло подводят под углом 45° к месту стыка двух деталей. При сварке ребер и трубки газовое сопло располагают вдоль ребра под углом 30° к трубке оболочки.

Основные параметры режима импульсной лазерной сварки, которые были определены при отработке технологических процессов сборки-сварки, – это энергия E и длительность импульсов t , диаметр сфокусированного излучения d ,

частота следования импульсов, положение фокального пятна относительно поверхности свариваемых деталей. Все эти параметры определялись опытным путем, так как сложная конфигурация стержня не позволила использовать для определения режимов ранее полученные данные и методики. При сварке опытных образцов оболочек параметр d изменяли от 0,05 до 0,1 мм путем расфокусировки луча. При этом фокальную плоскость, на которой сфокусированный световой пучок имеет наименьший диаметр, располагали выше или ниже поверхности свариваемых деталей. Экспериментально определен наиболее оптимальный режим, при котором скорость сварки составила 5 мм/с. Частота импульсов составила 5 - 6 Гц. Сварку проводили с отсутствием присадочного материала, ленты или порошка. Энергия импульса, которую также определили экспериментально, составила 4 -5 Дж. Перекрытие сварочных швов составило 60 %.

Были проведены экспериментальные исследования зависимости расстояния проходимого лучом от угла падения на деталь. Теоретически расстояние проходимое лучом тем больше, чем меньше его угол падения на деталь. На рисунке 3.2 показан общий вид сварки стержня в сечении.

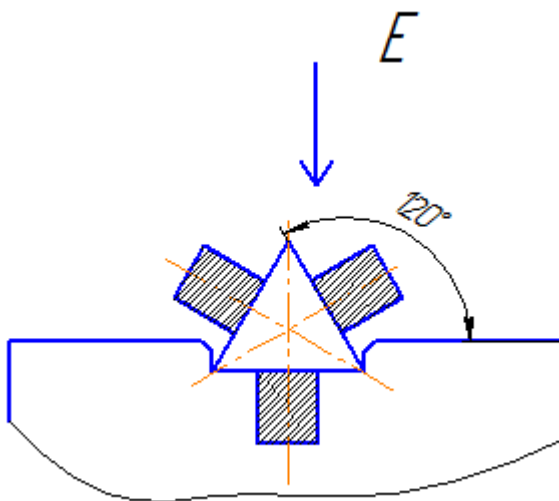


Рисунок 3.2 Общий вид сварки

Таблица 3.1 – Зависимость расстояния, проходимого лучом, от угла падения

Таблица расстояний

<i>Отклонение от нормали</i>	<i>Расстояние, проходимое лучом</i>
10°	1.7276 мм
20°	0.8771 мм
30°	0.6 мм
40°	0.4667 мм
50°	0.3916 мм
60°	0.3464 мм
70°	0.3193 мм
80°	0.3046 мм
90°	0.3 мм

На рисунке 3.3 показан график, выведенный из предыдущей таблицы.

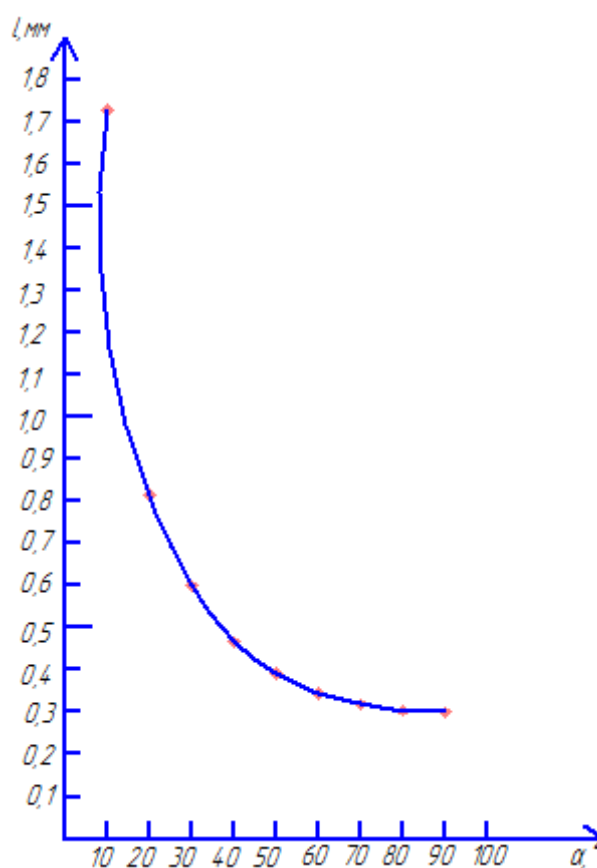


Рисунок 3.3 Расстояния, проходимые лучом в зависимости от угла падения

Было также выявлено, что углы меньше 30^0 сложно использовать ввиду сложности настройки луча на деталь и оптических сложностей установки при сварке. Кроме этого, угол был оптимизирован с учетом сложности изготовления оснастки для сварки.

4 ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В целях выбора оптимального метода сварки разнотолщинных элементов был проведен патентный обзор по данной теме.

1. Известен способ сварки разнотолщинных деталей, при котором на поверхности более толстой детали выполняют наклонный бурт (авторское свидетельство СССР №1127721, МКИ В 23 К 9/16, 1983 г.). Посадочную часть тонкостенной оболочки надевают на более толстую деталь. Бурт завальцовывают на более тонкую деталь, после чего оплавливают завальцованный участок. Сварочный электрод при этом располагают над местом сопряжения деталей.

Этот способ позволяет в 3-4 раза увеличить производительность процесса сварки и может обеспечить хорошее качество сварных соединений. Однако при посадке цилиндрической части тонкостенной оболочки на более толстую деталь неизбежен зазор между сопрягаемыми поверхностями. При завальцовке бурта этот зазор будет уменьшаться с одной стороны посадочной части тонкостенной оболочки и увеличиваться с другой стороны. Это создаст неодинаковые условия для теплоотвода от тонкой кромки на различных ее участках, что увеличит вероятность прожога тонкой кромки при сварке лазерным лучом.

2. Известен также способ сборки под сварку плавлением разнотолщинных деталей (авторское свидетельство СССР №1704991, МКИ 5 В 23 К 31/00), при котором свариваемые кромки тонкостенной и толстостенной детали собирают внахлест, располагая сопрягаемую часть тонкостенной детали на толстостенной детали или внутри нее. Сопрягаемую часть свариваемой кромки толстостенной детали выполняют конусной с углом наклона 1^0 . Большой и меньший диаметры конуса как при внешнем, так и при внутреннем расположении тонкостенной детали определяют из предложенных соотношений так, чтобы получить соединение деталей с натягом. При внешнем расположении тонкой детали у

основания конуса на толстой детали выполняют канавку, и после сборки кромку тонкостенной детали завальцовывают в канавку.

Однако у способов 1 и 2 есть существенный недостаток: они применимы в основном для цилиндрических оболочек.

3. Известен способ сварки металлов с различной толщиной (патент № JP 6198437A, 28.12.1992 г., МКИ В23К 9/12), который применяется для сварки стыковых соединений металлических элементов, имеющих толщину, отличающуюся друг от друга на величину более чем 0,1 мм. Данный способ принят за прототип. Сварочную горелку смещают на более тонкий металл и наклоняют ее под углом от 45 до 87 градусов от горизонтальной плоскости в сторону более толстого элемента. При этом угол наклона горелки выбирают в зависимости от величины разницы толщин свариваемых элементов.

Данный подход позволяет сместить пятно нагрева сварочной дуги в сторону более толстого металла, при том, что меньшая часть пятна нагрева дуги все равно будет оставаться на тонком металле. Чем больше разница толщин свариваемых элементов, тем большая часть пятна нагрева сварочной дуги должна находиться на толстом металле и меньшая часть пятна нагрева сварочной дуги должна находиться на тонком металле. Это соотношение регулируется углом наклона сварочной горелки к горизонту. Такой подход позволяет осуществить регулирование количества тепла, вводимого отдельно в тонкий и толстый металлы, за счет изменения пространственного положения пятна нагрева дуги на свариваемых кромках.

Однако такой способ сварки имеет весьма ограниченные возможности по регулированию количества тепла, вводимого отдельно в каждую из свариваемых кромок, т.к. величина сварочного тока дуги остается всегда постоянной. Поэтому область применения такого способа ограничена соединениями элементов, имеющих небольшую разницу в толщине, или соединениями, в которых даже толщина тонкой детали не будет оказывать существенного влияния на картину температурного поля в свариваемых

кромках (т.е. для достаточно толстых элементов). При использовании такого подхода для соединения металлов с большой разницей толщин возникает большая опасность образования в соединении либо прожога тонкого металла, либо несплавления толстого и тонкого металлов.

Кроме этого, данный метод сложноприменим при сварке деталей с низкой теплопроводностью. Трудности при сварке таких деталей вызваны высоким количеством теплоты, сконцентрированным в области сварки. Исходя из этого условия возникают трудности в ориентации лазерного луча. Лучше всего передают тепло металлы. Так, теплопроводность меди = 400 Вт/(м·К), серебра 418, алюминия 200 Вт/(м·К), нержавеющей стали около 20 Вт/(м·К), простых сталей примерно в два раза выше.

В итоге были сформулированы предложения, в данный момент готовится подача заявки на выдачу патента РФ.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ СБОРКИ-СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СБОРКИ-СВАРКИ

5.1 Проектирование технологических операций сборки-сварки изделий
[27], [28]

Определение норм времени на все операции.

Штучно-калькуляционное время:

$$T_{ш-к} = T_{п-з}/n + T_{шт} \quad (5.1)$$

где $T_{п-з}$ – подготовительно-заключительное время, (мин);

n – количество деталей в настроечной партии, (шт)

$$n = N \cdot a / D \quad (5.2)$$

где N – программа выпуска (для среднесерийного производства = 5000 шт.)

a – периодичность запуска в днях (3,6,12,24 дня)

D – количество рабочих дней.

Принимаем $a = 6$,

тогда:

$$n = 5000 \cdot 6 / 24 = 118$$

Определяем норму штучного времени $T_{шт}$ для всех операций, кроме сварки:

$$T_{шт} = T_o + T_{в \cdot k} + T_{об}. \quad (5.3)$$

Для операции сварки:

$$T_{шт} = T_o + T_{в \cdot k} + T_{тех} + T_{орг} + T_{от} \quad (5.4)$$

где T_o – основное время, (мин)

$T_{в}$ – вспомогательное время, (мин).

Вспомогательное время состоит из затрат времени на отдельные приемы:

$$T_{в} = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{из} \quad (5.5)$$

где $T_{у.с}$ – время на установку и снятие детали, (мин);

$T_{з.о}$ – время на закрепление и открепление детали, (мин);

$T_{уп}$ – время па приемы управления, (мин);

$T_{из}$ – время на измерение детали, (мин);

$K = 1,85$ – коэффициент для среднесерийного производства

$T_{об.от}$ – время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности, (мин);

$T_{тех}$ – время на техническое обслуживание рабочего места;

$T_{орг}$ – время на организационное обслуживание;

$T_{от}$ – время перерывов на отдых и личные надобности, (мин);

$$T_{тех} = T_o \cdot t_{п}/T \quad (5.6)$$

где $t_{п}$ – время на замену инструмента, (мин).

Расчет норм времени на операцию сварки:

$$T_o = \frac{L_{рх} \cdot i}{nS} \quad (5.7)$$

где $L_{рх}$ – длина рабочего хода;

$$L_{px} = L_{рез} + l_1 + l_2 + l_3 \quad (5.8)$$

где $L_{рез}$ – длина сварки, (мм);

l_1 – длина подвода режущего инструмента к обрабатываемой поверхности, (мм);

l_2 – длина врезания режущего инструмента;

l_3 – длина перебега режущего инструмента;

i – число проходов.

В нашем случае:

$$T_0 = \frac{29}{1880 \cdot 0,5} + \frac{114}{1420 \cdot 0,5} + \frac{57}{1253 \cdot 0,5} = 0,282 \text{ мин};$$

$$T_B = (0,1 + 0,01 + 0,03 + 0,2)1,85 = 0,270 \text{ мин};$$

$$T_{оп} = 0,282 + 0,270 = 0,552 \text{ мин};$$

$$T_{об.от} = 0,06 + 0,552 = 0,033 \text{ мин};$$

$$T_{п-з} = 17 \text{ мин};$$

$$T_{шт} = 0,552 + 0,033 = 0,585 \text{ мин};$$

$$T_{шт-к} = 0,585 + 17/236 = 0,657 \text{ мин};$$

5.2 Управляющие программы (програмное обеспечение)

Програмное обеспечение реализует загрузку и обработку файлов-заданий в формате HPGL, синхронное управление приводами столов и лазером, визуальное отслеживание процесса на ТВ мониторе и интерактивную установку технологических параметров.

При выполнении большинства задач обработки, управление машиной осуществляется от встроенного компьютера. Такой подход дает следующие преимущества:

- обеспечивается быстрая оптимизация технологических параметров за счет программной настройки в широких пределах, с возможностью одновременного использования разных технологий на одной детали без вмешательства оператора;

- обеспечивается качественное выполнение обработки, в том числе и по сложным контурам;
- обеспечивается воспроизводимость за счет поддержания стабильных технологических параметров и сохранения отлаженных технологий;
- обеспечивается быстрая смена заданий с возможностью мгновенного восстановления технологических параметров, сохраняемых в компьютере.
- легко реализуется групповая обработка или сопряжение с конвейерными и технологическими линиями или коммуникационными сетями;
- существенно снижается нагрузка и воздействие вредных факторов лазерного излучения на оператора;
- реализуется возможность программной самодиагностики и контроля оборудования;
- значительно облегчается и ускоряется процесс обучения операторов;
- при необходимости можно быстро получить нестандартное решение за счет изменения или дополнения программы;
- описанные возможности реализуются за счет программного управления машиной от стандартного ИВС-РС компьютера через специальные контроллеры:
 - управление координатными приводами через порты контроллера движения PCI-1242 (1243);
 - управление оперативной заслонкой – через порт PCI-1751;
 - управление ТВ-системой наблюдения, через контроллеры ТВ-ввода;
 - управление источником питания лазера через порты RS-232-C или RS-485;
 - управление автоматикой машины через стандартные порты компьютера (LPT-порт, COM-порты) или порты ввода/вывода контроллера PCL-1751.

Программа написана для компьютера, аппаратно совместимого с IBM PC.

Тип процессора – не менее Pentium IV, объем ОЗУ – не менее 128 МБ, объем видео ОЗУ не менее 4 МБ. Операционная система – «Windows 98» или выше.

Файлы, необходимые для работы программы обычно устанавливаются в директорию МЛ.

Файлы, необходимые для работы в среде MS Windows XP или Windows 7:

- ML49.exe – управляющая программа;
- TrackLayer 2.exe – программа конвертации и технологической САМ-подготовкой чертежей.

Дополнительные программы:

- MLConvert.exe или Conv2ml.exe – простые программы конвертирования файлов.
- Digits.lml – файл шрифта цифр автонумератора;
- MLOptimize_install.exe, MLPaint_install.exe, MLPortTest_install.exe – для подготовки простых файлов;
- MLPaint.exe (со своей библиотекой сообщений), MLPaint.rus – программа оптимизации траекторий;
- Optimize.exe, MLPortTest.exe – для проверки входов выходов LPT-порта.

Исходные файлы чертежей-заданий (плоттерные файлы *.plt, созданные редакторами AutoCAD или CorelDRAW для вывода на плоттер типа HP7574 (язык управления HPGL)) или файлы .dxf формата, а также справочные файлы с расширением *.doc для всех перечисленных программ.

6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ-СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ

Для сварки изделий было разработано специальное приспособление [10], [11]. Данное приспособление устанавливается на координатный стол лазерной машины и закрепляется при помощи прижимов. Общий вид приспособления представлен на рисунке 6.1.

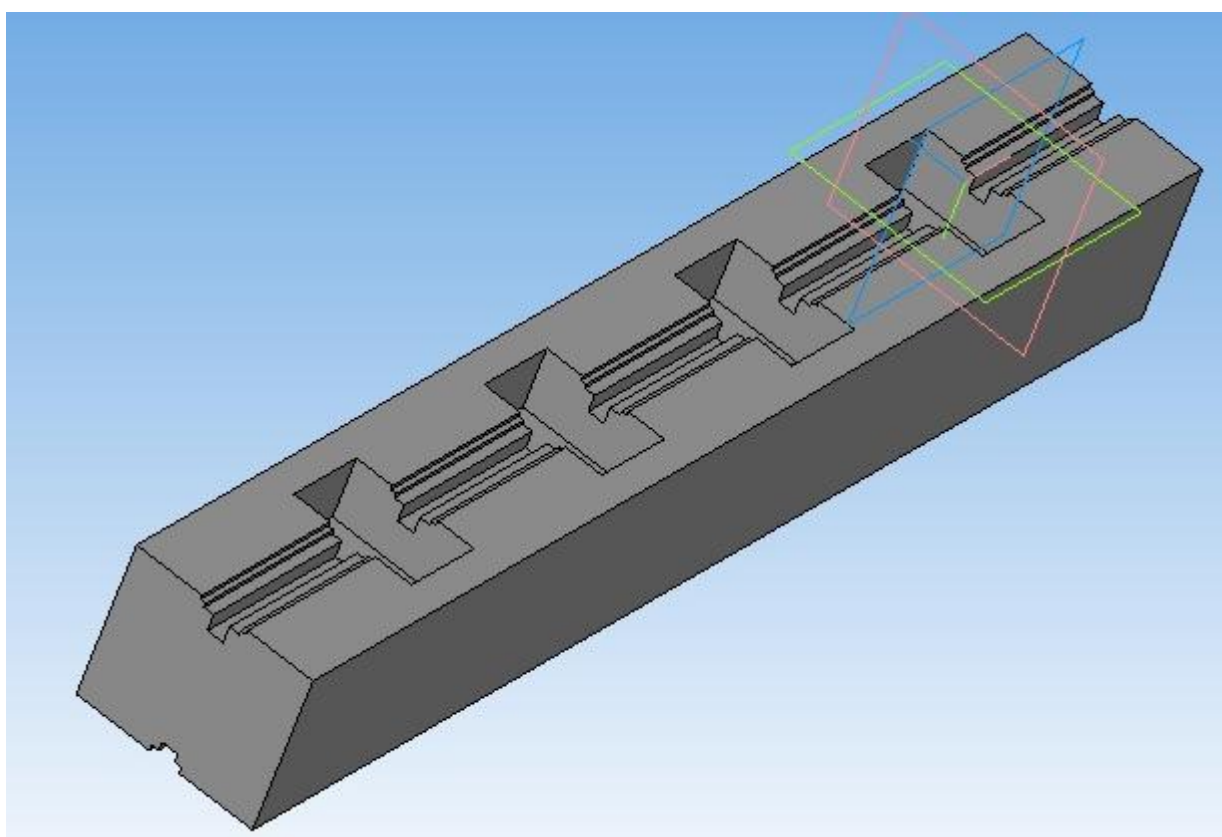


Рисунок 6.1 Общий вид приспособления для сварки расширяемого стержня

На рисунке 6.2 показано изготовленное и интегрированное в систему станка приспособление.



Рисунок 6.2 Интегрированное в систему станка приспособление
для сварки изделий

Данное приспособление существенно упрощает базирование и сварку элементов расширяемого стержня.

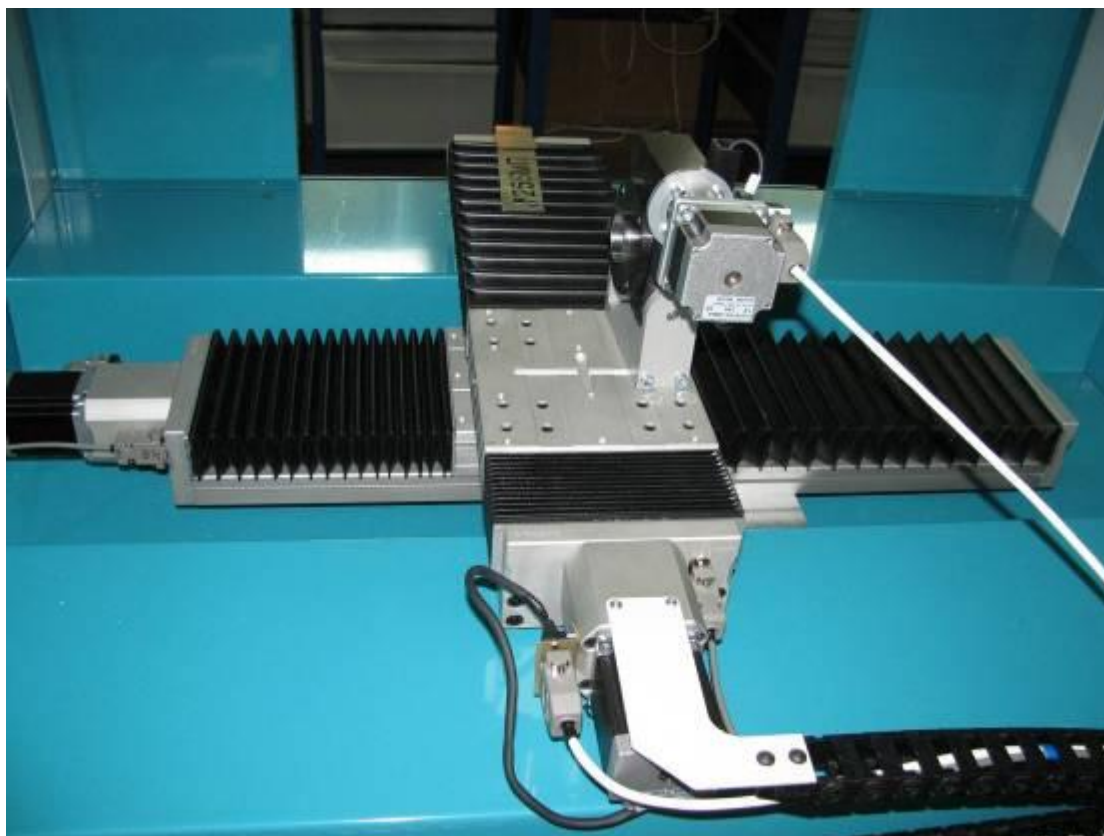


Рисунок 6.3 Стол координатный с ходом по X-Y от 300×300мм и до 500×400 мм. Сверху показан привод вращения с конусом Морзе № 4

Кинематическая система установки с интегрированной автоматизированной системой включает X-Y координатный стол, приводимый в движение шаговыми двигателями, механизм автоматической подачи силового объектива по оси Z и механизмы и приводы вращательных оснасток (рис. 6.3).

При сварке компоненты расширяемого стержня располагаются в базировочном приспособлении, закрепляемом на предметном столике, последний в свою очередь крепится на подвижной каретке линейных X-Y столов или на каретке вращающегося стола. При этом обеспечивается возможность перемещения деталей под силовым объективом станка в пределах, определяемых размерами столов и программными установками координатной системы. Линейные приводы выполнены по схеме «винт-гайка» с приводом от шаговых двигателей.

Управление ручным перемещением столов осуществляется с выносного пульта управления.

В случае установки механизма «резака» с датчиком слежения и микропроцессорным блоком БСЗ, наведение силового объектива на разрезаемую деталь осуществляется на панели БСЗ. Привод «резака» выполнен на шаговом двигателе ДШИ-200. При этом обеспечивается вертикальное перемещение объектива до 150 мм. вдоль оси Z.

Вращательное приспособление с управляемым приводом на шаговом двигателе (рис. 6.4) предназначено для сварки небольших деталей вращения, закрепляемых в стандартные инструментальные цанги ($\varnothing 2...40$ мм), или зажимной патрон $\varnothing 80$ мм. Для установки цангового зажима, малых патронов и т.п. вращательное приспособление имеет посадочное гнездо под конус Морзе №4.

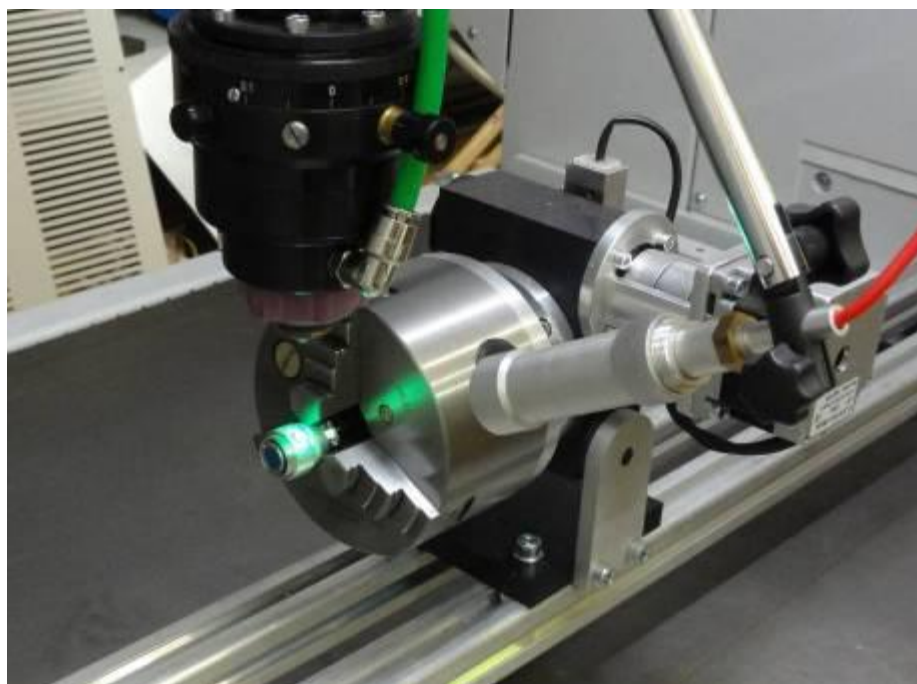


Рисунок 6.4 Вращательное приспособление с шаговым приводом
и зажимным патроном

Вращательное приспособление устанавливается и закрепляется на рабочем столе под нужным углом к оси движения линейного стола и обеспечивает регулировку своей оси вращения в пределах $0...90^\circ$ по отношению к оси лазерного луча.

На предметный стол станка также могут быть установлены и другие вращательные приспособления с приводом от двигателей постоянного или переменного тока.

7 ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

7.1 Технологические требования к деталям сварной конструкции и контроль качества

7.1.1 Технологические требования

Длина цилиндрического борта l (l - расстояние от начала закругления отбортованного элемента до окончательно обработанной кромки) в зависимости от толщины стенки S (рисунок 7.2) для отбортованных и переходных элементов сосудов, за исключением штуцеров, компенсаторов и выпуклых днищ, принимается не менее указанной в таблице 7.1. Радиус отбортовки $R > 2,5 S$.

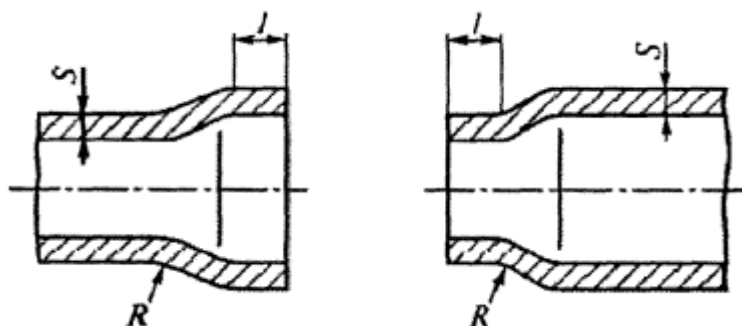


Рисунок 7.1 Отбортованный и переходный элемент

Таблица 7.1 – Длина цилиндрического борта

Толщина стенки S , мм	Длина цилиндрического борта l , мм
До 5	15
Более 5 до 10	$2 S + 5$
Более 10 до 20	$S + 15$
Более 20	$S/2 + 25$

Элементы, привариваемые непосредственно к корпусу сосуда изнутри или снаружи, следует изготавливать из материалов того же класса, что и корпус.

Допускается приварка к поверхности корпуса сосуда элементов из сталей других классов. Возможность применения таких элементов, их размеры (протяженность и толщина) обосновывается проектом.

Перед изготовлением (доизготовлением), монтажом и ремонтом следует производить входной контроль основных и сварочных материалов и полуфабрикатов. Во время хранения и транспортирования материалов следует исключать повреждения материалов и обеспечивать возможность идентификации нанесенной маркировки с данными документации. Методы разметки заготовок деталей из сталей аустенитного класса марок 12X18H10T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T и двухслойных сталей с коррозионностойким слоем из этих сталей не должны допускать повреждений рабочей поверхности деталей. Кернение выполняется по линии реза.

Предельные отклонения размеров, если в документации не указаны более жесткие требования, устанавливаются:

- для механически обрабатываемых поверхностей – отверстий H14, валов h14, остальных $\pm \frac{IT14}{2}$;

- для поверхностей без механической обработки, а также между обработанной и необработанной поверхностями – в соответствии с таблицей 7.2.

Таблица 7.2 – Предельные отклонения размеров поверхностей

Размеры, мм	Предельные отклонения		
	отверстий	валов	остальных
До 500	H17	h17	$\pm \frac{IT17}{2}$
Свыше 500 до 3150	H16	h16	$\pm \frac{IT16}{2}$
Свыше 3150	H15	h15	$\pm \frac{IT15}{2}$

Методы сборки элементов под сварку должны обеспечивать правильное взаимное расположение сопрягаемых элементов и свободный доступ к выполнению сварочных работ в последовательности, предусмотренной технологическим процессом.

Сварку следует выполнять после подтверждения правильности сборки и устранения дефектов на всех поверхностях, подлежащих сварке. Сварку корпусов и приварку к ним деталей сосудов 1, 2, 3, 4-й групп, а также сварку внутренних устройств, если они относятся к указанным группам, следует проводить аттестованными сварщиками.

Сварку сосудов (сборочных единиц, деталей) следует производить в соответствии с требованиями технических условий на изготовление или технологической документации. Технологическая документация должна содержать указания:

- по технологии сварки материалов, принятых для изготовления сосудов (сборочных единиц, деталей);
- по применению присадочных материалов;

- по видам и объему контроля;
- по предварительному и сопутствующему подогреву;
- по термической обработке.

Прихватка свариваемых сборочных узлов и деталей производится с применением сварочных материалов, указанных в документации, аттестованными сварщиками.

Для предотвращения холодных трещин сварочные работы при изготовлении сосудов (сборочных единиц, деталей) производятся при положительных температурах в закрытых отапливаемых помещениях (таб. 7.3).

Таблица 7.3 – Температура окружающего воздуха при сварке сосудов

Материал	Температура окружающего воздуха при сварке металла толщиной	
	не более 16 мм	более 16 мм
Углеродистая сталь с содержанием углерода менее 0,24 %, низколегированные марганцовистые и марганцевокремнистые стали и основной слой из этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0 °С до минус 20 °С – сварка без подогрева. При температуре ниже минус 20 °С – сварка с подогревом до 100–200 °С	Ниже 0 °С до минус 20°С – сварка с подогревом до 100–200 °С
Углеродистая сталь с содержанием углерода от 0,24 до 0,28 %	Ниже 0 °С до минус 10 °С – сварка без подогрева	Ниже 0 °С до минус 10°С – сварка с подогревом до 100–200 °С

Продолжение таблицы 7.3

Низколегированные хромомолибденовые стали (марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ) и основной слой этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0 °С до минус 10 °С – сварка с подогревом до 250–350 °С
Стали марок 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, Х8, Х9М, 12Х8ВФ и т.п.	Не ниже 0 °С
Высоколегированные, хромоникельмолибденовые и хромоникелевые стали аустенитного класса и коррозионностойкого слоя из этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0 °С до минус 20 °С – сварка без подогрева

Сварные швы сосудов следует расположить так, чтобы обеспечить возможность их визуального осмотра и контроля качества неразрушающим методом (ультразвуковым, радиографическим и др.), а также устранения в них дефектов.

Допускается в сосудах 1, 2, 3, 4-й и 5а групп не более одного, в сосудах 5б группы не более четырех, в теплообменниках не более двух стыковых швов, доступных для визуального осмотра только с одной стороны. Швы необходимо выполнять способами, обеспечивающими провар по всей толщине свариваемого металла (например, с применением аргонодуговой сварки корня шва, подкладного кольца, замкового соединения). Возможность применения остающегося подкладного кольца и замкового соединения в сосудах 1-й группы следует обосновывать в проекте в установленном порядке.

При сварке стыковых сварных соединений элементов разной толщины необходимо предусмотреть плавный переход от одного элемента к другому постепенным утонением более толстого элемента. Угол скоса α элементов разной толщины должен быть не более 20° (уклон 1/3). Допускается выполнять сварку стыковых швов без предварительного утонения более толстого элемента, если разность в толщинах соединяемых элементов не превышает

30 % толщины более тонкого элемента, но не более 5 мм; при этом форма шва должна обеспечивать плавный переход от толстого элемента к тонкому.

Форма и размеры швов должны соответствовать требованиям стандартов на швы сварных соединений или технической документации. При выполнении стыковых соединений допускается не исправлять сварные швы, если отклонение размеров валика (ширина и высота) составляет не более 30 % предусмотренных стандартом размеров на данный вид сварки. У сосудов, изготовленных из коррозионностойких сталей, снятие усилия сварных швов, соприкасающихся при эксплуатации со средой, допускается при наличии указаний об этом в проекте.

Коррозионная стойкость сварных соединений должна соответствовать требованиям проекта или иной технической документации на сосуд (сборочную единицу, детали).

В сварных соединениях не допускаются следующие наружные дефекты:

- трещины всех видов и направлений;
- свищи и пористость наружной поверхности шва;
- подрезы;
- наплавы, прожоги и незаплавленные кратеры;
- смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше предусмотренных норм;
- несоответствие формы и размеров требованиям стандартов, технических условий или проекта;
- поры, выходящие за пределы норм;

- чешуйчатость поверхности и глубина впадин между валиками шва, превышающие допуск на усиление шва по высоте.

В сварных соединениях не допускаются следующие внутренние дефекты:

- трещины всех видов и направлений, в том числе микротрещины, выявленные при микроисследовании;
- свищи;
- смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей выше норм, предусмотренных настоящими правилами;
- непровары (несплавления), расположенные в сечении сварного соединения;
- усиление t переходного шва в сварных соединениях двухслойных сталей выше линии раздела слоев на величину более $0,3 S$ (S – толщина плакирующего слоя, S_1 – толщина листа).

Сосуды (сборочные единицы, детали) из сталей марок 08X18H10T, 08X18H12Б и других аустенитных сталей, стабилизированных титаном или ниобием, предназначенные для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, а также при температурах выше 350 °С в средах, вызывающих межкристаллитную коррозию, подвергаются термической обработке по требованию, оговоренному в проекте.

7.1.2 Контроль качества

Сосуды (сборочные единицы, детали), материалы и комплектующие изделия принимаются и проверяются на соответствие требованиям настоящих правил, технических условий, проекта. Каждое изделие (сосуд) следует подвергать приемосдаточному испытанию, которое включает проверку:

- габаритных и присоединительных размеров;
- идентификации материалов;
- прочности и герметичности;
- качества сварных швов;

- качества поверхности;
- качества покрытия;
- комплектности изделия (сосуда);
- комплектности и содержания документации;
- маркировки;
- консервации;
- упаковки.

Геометрические размеры и форму поверхностей следует измерять с помощью средств, обеспечивающих погрешность не более 30 % установленного допуска на изготовление. Габаритные размеры сосудов следует определять путем суммирования размеров входящих в них сборочных единиц и деталей.

Контроль качества поверхностей на наличие плен, закатов, расслоений, грубых рисок, трещин, снижающих качество и ухудшающих товарный вид, проводится путем визуального осмотра. Контроль качества сварных соединений следует проводить следующими методами:

- визуальным осмотром и измерением;
- механическими испытаниями;
- испытанием на стойкость против межкристаллитной коррозии;
- металлографическими исследованиями;
- стилоскопированием;
- ультразвуковой дефектоскопией;
- радиографией;
- цветной или магнитопорошковой дефектоскопией;
- другими методами (акустической эмиссией, люминесцентным контролем, определением содержания ферритной фазы и др.) по требованию проекта.

В процессе изготовления сборочных единиц и деталей необходимо проверять на соответствие требованиям стандартов (технических условий) и проекта:

- состояние и качества свариваемых сборочных единиц и деталей и сварочных материалов;

- качество подготовки кромок и сборки под сварку;

- соблюдение технологического процесса сварки и термической обработки.

Визуальный контроль и измерение сварных швов необходимо проводить после очистки швов и прилегающих к ним поверхностей основного металла от шлака, брызг и других загрязнений. Визуальному контролю и измерению подлежат все сварные швы для выявления наружных недопустимых дефектов.

Визуальный контроль и измерение следует проводить в доступных местах с двух сторон по всей протяженности шва.

Металлографическим исследованиям необходимо подвергать стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосудов:

- 1, 2, 3-й групп, работающих под давлением более 5 МПа (50 кгс/см²) или при температуре ниже минус 40 °С;

- 1-й, 2-й групп, работающих при температуре выше 450 °С.

Допускается не проводить металлографические исследования стыковых сварных швов сборочных единиц и деталей, работающих при температуре ниже минус 40 °С, толщиной не более 20 мм из сталей марок 12X18H10T и 08X18H10T.

7.2 Гидравлические испытания

При создании конструкций, работающих под давлением, одним из ключевых факторов, который влияет на их работоспособность, является способность конструкции выдерживать требуемое рабочее давление. Иными словами, в первую очередь для вновь вводимых в эксплуатацию такого рода конструкций следует проводить испытание на герметичность. В зависимости от условий нагрузки (внутреннее или внешнее давление, агрессивность рабочей среды и др.) проводятся различного рода испытания, направленные на установление способности вновь вводимой конструкции выдерживать требуемое давление.

Все испытания проводятся в соответствии с ГОСТами, нормативными документами и стандартами, регламентирующими испытания. При проведении испытаний для выбора нормативного документа, согласно которого будет проводиться испытание продукции, необходимо выделить ключевые особенности конструкции, а именно:

- особенности сборки конструкции (конечная сварка, механическая сборка, отсутствие сборки);
- тип давления (пневматическое или гидравлическое);
- характер нагружения (внутреннее давление или внешнее);
- максимально допустимое давление на рабочие органы конструкции;
- среда эксплуатации;
- особенности материала конструкции.

В зависимости от различных особенностей, которые отмечены в вновь вводимой в эксплуатацию конструкции, при испытании либо руководствуются готовыми методами испытаний, описанными в нормативных документах, либо создают уникальную методику, согласно которой испытывается только данная, или подобного рода, конструкция.

7.3 Описание особенностей конструкции расширяемого стержня

Оболочка представляет собой металлическую конструкцию, выполненную из стали 12X18H10T.

- тип сборки – сварка;
- тип рабочего давления – гидравлическое;
- характер нагружения – внутреннее давление;
- максимально допустимое рабочее давление – 70 Bar;
- среда эксплуатации – химически активная среда, характеризующаяся наличием стационарного давления;
- особенности материала конструкции – кислотостойкая нержавеющая сталь.

Образец оболочки представлен на рисунке 7.2.



Рисунок 7.2 Образец оболочки для испытаний на герметичность

7.4 Описание особенностей испытания расширяемого стержня

Такого рода испытание было выбрано не случайно. В данном случае его можно рассматривать как качественную проверку сварки всех узлов оболочки, а также проверку работы обратного клапана, удерживающего давление внутри оболочки. Для испытания было отобрано 10 образцов.

Все образцы были тщательно осмотрены и проверены на предмет наличия

визуальных дефектов конструкции.

При проведении испытаний мы руководствовались несколькими нормативными документами:

- ПБ 03-584-03 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных» [3];
- ГОСТ Р 51827-2001 «Тара. Методы испытаний на герметичность и гидравлическое давление» [1].

Эти документы регламентируют испытания сварных конструкций, которые эксплуатируются под действием гидравлического давления.

Согласно документу [3] правила применяются:

- при проектировании, изготовлении, монтаже, эксплуатации;
- модернизации, ремонте и консервации стальных сварных сосудов и аппаратов на опасных производственных объектах;
- при проведении экспертизы промышленной безопасности стальных сварных сосудов и аппаратов.

Настоящие правила распространяются на проектируемые, вновь изготавливаемые и модернизируемые стальные сварные сосуды и аппараты, работающие под давлением не более 16 МПа (160 кгс/см²), вакуумом с остаточным давлением не ниже 665 Па (5 мм рт. ст.) и при температуре стенки не ниже минус 70 °С, а также на действующие стальные сварные сосуды и аппараты, эксплуатирующиеся на опасных производственных объектах.

Возможность распространения требований правил на конкретные типы и виды сосудов и аппаратов определяется условиями эксплуатации, при необходимости обосновывается расчетами и устанавливается проектом.

На предприятиях и в организациях с действующими стальными сосудами и аппаратами, не отвечающими требованиям настоящих правил, при необходимости могут разрабатываться мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации. Мероприятия согласовываются и утверждаются в установленном порядке.

Согласно регламентам документа [1]:

1. Гидравлическому испытанию подлежат сосуды после их изготовления.

2. Гидравлическое испытание сосудов, транспортируемых частями и собираемых на месте монтажа, допускается проводить после их сборки на месте установки.

3. Гидравлическое испытание сосудов следует проводить с крепежом и прокладками, предусмотренными в технической документации. Пробное давление гидравлического испытания сосуда определяется с учетом минимальных значений расчетного давления и отношения допускаемых напряжений материала сборочных единиц (деталей). Пробное давление при гидравлическом испытании сосуда, рассчитанного по зонам, определяется с учетом той зоны, расчетное давление или расчетная температура которой имеет меньшее значение.

4. Гидравлическое испытание сосудов, устанавливаемых вертикально, допускается проводить в горизонтальном положении при условии обеспечения прочности корпуса сосуда. При этом необходимо выполнить расчет на прочность с учетом принятого способа опирания для проведения гидравлического испытания. Пробное давление следует принимать с учетом гидростатического давления, действующего на сосуд в процессе его эксплуатации.

5. Для гидравлического испытания сосуда следует использовать воду. Допускается в обоснованных случаях использование другой жидкости. Температуру воды следует принимать не ниже критической температуры хрупкости материала сосуда и указывать в технической документации. При отсутствии указаний температура воды должна быть в пределах от 5 до 40 °С.

6. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытания не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенки сосуда. При заполнении сосуда водой необходимо удалять воздух из внутренних

полостей. Давление следует поднимать равномерно до достижения пробного.

7. Скорость подъема давления не должна превышать 0,5 МПа (5 кгс/см²) в минуту, если нет других указаний в технической документации. Время выдержки под пробным давлением должно быть не менее значений, указанных в таблице 7.4. После выдержки под пробным давлением давление снижают до расчетного, при котором производят визуальный осмотр наружной поверхности, разъемных и сварных соединений. Не допускается обстукивание сосуда во время испытаний.

Таблица 7.4 – Время выдержки сосуда под пробным давлением при гидравлическом испытании

Толщина стенки, мм	Время выдержки, мин.
До 50	10
Свыше 50 до 100	20
Свыше 100	30

Время выдержки сосуда под пробным давлением должно быть не менее 5 мин и указываться в технической документации.

8. Гидравлическое испытание допускается заменять пневматическим испытанием (сжатым воздухом, инертным газом или смесью воздуха с инертным газом) при условии контроля этого испытания методом акустической эмиссии или другим безопасным методом. Пневмоиспытание следует проводить по инструкции, утвержденной в установленном порядке.

9. Визуальный осмотр сосудов, работающих под вакуумом, производится при пробном давлении. После проведения гидравлического испытания вода полностью удаляется.

10. Контроль методом акустической эмиссии следует проводить в соответствии с требованиями нормативно-технической документации по промышленной безопасности.

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время их проведения отсутствуют:

- падение давления по манометру;
- пропуски испытательной среды (течь, потение, пузырьки воздуха или газа) в сварных соединениях и на основном металле;
- признаки разрыва;
- течи в разъёмных соединениях;
- остаточные деформации.

Допускается не считать течью пропуски испытательной среды через неплотности арматуры, если они не влияют на сохранение пробного давления. Необходимость контроля на герметичность, степень герметичности и выбор методов и способов испытаний следует оговаривать в технической документации. Контроль на герметичность следует проводить согласно требованиям нормативно-технической документации по промышленной безопасности.

7.5 Ход испытания

Перед испытанием все образцы были подвергнуты технологическому ужатию в специальной оснастке. Данное приспособление устанавливается совместно с трехкулачковым патроном (рис. 7.3).



Рисунок 7.3 Трехкулачковый патрон перед установкой на него приспособления для технологического ужатия

К патрону присоединяется приспособление и фиксируется на нем тремя винтами (рис. 7.4).



Рисунок 7.4 Приспособление для технологического ужатия

Готовая оболочка проходит через приспособление и ужимается от исходного состояния в примерно в 1,5 раза. На рисунке 7.5 показано прохождение оболочки через приспособление.



Рисунок 7.5 Ужатие штифта в специальной оснастке

На рисунке 7.6 показаны состояния оболочки до ужатия и после него.



Рисунок 7.6 Состояния оболочки до ужатия и после него

После этого оболочка была установлена в специальный набор для испытаний на герметичность (рисунок 7.7). В полость закачивалась вода комнатной температуры.



Рисунок 7.7 Набор для испытаний на герметичность

Испытание заключалось в следующем. В ужатую оболочку подавалось давление 70 BAR. Под воздействием давления оболочка начала расширяться, пока не достигла своего предела расширения (рисунок 7.8).



Рисунок 7.8 Оболочка после нагнетания давления 70 BAR

Далее проводился визуальный осмотр на наличие протеканий. По итогам осмотра был сделан вывод, что все образцы оболочек выдерживают рабочую нагрузку. Протеканий у всех 10 образцов обнаружено не было.

Далее к образцы подвергли максимальной нагрузке, которую позволял приложить набор, 130 BAR (рисунок 7.9).



Рисунок 7.9 К оболочке прикладывается давление в 130 BAR

Визуальный осмотр не выявил протечек, после чего стержень был оставлен на 20 минут под давлением для изучения влияния давления на штифт. На рисунке 7.10 показано состояние стержня через 20 минут после подачи давления во внутреннюю полость стержня.

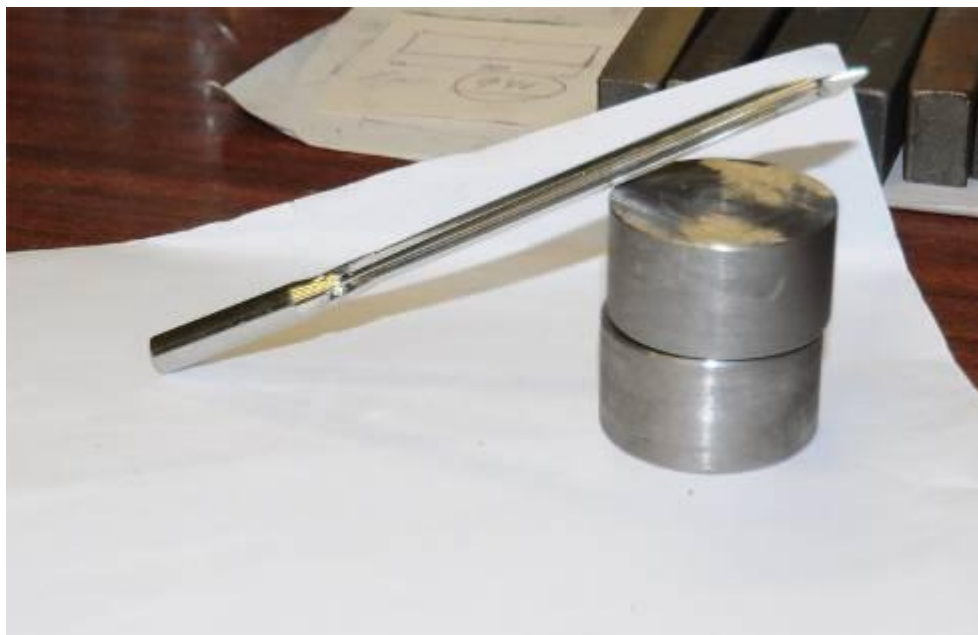


Рисунок 7.10 Состояние оболочки через 20 мин после подачи давления
во внутреннюю полость

По окончании данного этапа испытаний протечек обнаружено не было. Стержень был оставлен под давлением. Через 2 часа после подачи давления во внутреннюю полость был произведен визуальный осмотр: протечек обнаружено не было (рисунок 7.11).



Рисунок 7.11 Оболочка через 2 часа после подачи давления
во внутреннюю полость

Результаты исследований свидетельствуют о высокой надежности конструкции оболочки, а также о высоком качестве сварки элементов.

7.6 Соответствие полого раширяемого стержня ГОСТу для гидравлического испытания

Образец полого раширяемого стержня в процессе эксплуатации подвергается рабочему давлению $70 \text{ Bar} = 7 \text{ Мпа}$. Все элементы, привариваемые непосредственно к корпусу сосуда изнутри или снаружи изготовлены из материалов того же класса, что и корпус (в соответствии с ГОСТ).

Перед изготовлением был произведен входной контроль основных и сварочных материалов и полуфабрикатов. Все отклонения размеров были выдержаны в соответствии с исходной конструкторско-технологической документацией. Было обеспечено правильное взаимное расположение сопрягаемых элементов и свободный доступ к выполнению сварочных работ в последовательности, предусмотренной технологическим процессом. Сварка была произведена в соответствии с нормативными документами [1], [3].

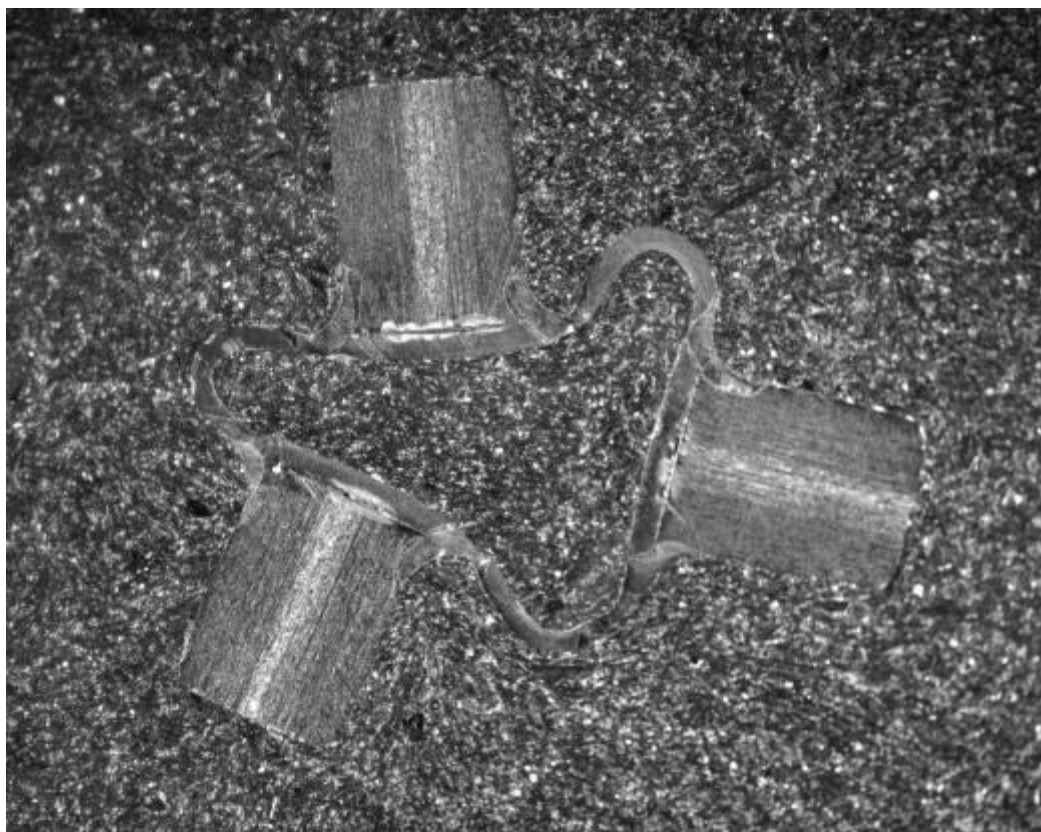
Каких-либо дефектов сварки обнаружено не было. Был произведен контроль качества сварных соединений. В данном случае мы использовали метод металлографического анализа.

На рисунке 7.12 показан внешний вид сварного шва трубки и ребер жесткости. Как видно из рисунка 7.12, внешних дефектов сварки нет. Слой сварного шва одинаковый на всем своем протяжении.



Рисунок 7.12 Внешний вид сварного шва трубки и ребер жесткости основной части оболочки

Макроструктура сварного шва в сечении представлена на рисунке 7.13. Как видно из рисунка, ребра оболочки приварены к трубке без видимых дефектов. Следует уточнить, что в данном случае представлен опытный образец оболочки, на котором отрабатывались технологии изготовления, а также изучались технологические возможности оборудования.



×16

Рисунок 7.13 Макроструктура поперечного сечения основной части изделия

Для гидравлического испытания сосуда была использована вода комнатной температуры. Согласно таблице 7.4 время выдержки конструкции с толщиной стенок менее 50 мм должна составлять не менее 10 минут. В нашем случае минимальное время выдержки составило 20 минут. Согласно регламентирующим документам результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время их проведения отсутствуют:

- падение давления по манометру;
- пропуски испытательной среды (течь, потение, пузырьки воздуха или газа) в сварных соединениях и на основном металле;
- признаки разрыва;
- течи в разъемных соединениях;
- остаточные деформации.

В нашем случае за все время испытания падения давления по манометру зафиксировано не было. Течи в местах сварки обнаружены не были. Разъемное соединение ниппельной части стержня и обратного запорного клапана было исследовано через 2 часа на предмет пропускания рабочей жидкости, течей обнаружено не было.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Предприятия отрасли машиностроения, оснащенные в соответствии с современными требованиями, характеризуются высокой интенсивностью производственных процессов, а также высоким уровнем автоматизации и механизации технологических процессов.

Данные обстоятельства способствуют улучшению условий труда на производстве и снижению воздействия опасных и вредных производственных факторов на работающих. Вместе с тем, это требует от инженерно-технических работников высокой квалификации в сфере безопасности технологических процессов и оборудования, а именно: четкого представления об особенностях воздействия опасных и вредных производственных факторов на работающих в конкретных производственных условиях и способах защиты от них, грамотных действий в условиях чрезвычайных ситуаций, а также проведения профилактических мероприятий на производстве [9], [13].

8.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Сборка-сварка базовых элементов расширяемого стержня производится из кислотостойкой нержавеющей стали 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632 – 72) при помощи специальной установки на основе лазерного квазинепрерывного иттербиевого оптоволоконного преобразователя.

Чистовая подгонка деталей под сборку происходит на токарных, фрезерных и правильных станках. Мойка деталей перед сборкой осуществляется в специальной моечной машине. Все оборудование подсоединено к электрической сети напряжением 380 В и имеет подвод сжатого воздуха. К металлообрабатывающим станкам осуществляется подвод СОЖ для охлаждения и смазки.

На станках применяется следующий инструмент: резцы и специальные роликовые даватели для обеспечения необходимой формы готового изделия.

Транспортировка заготовок и готовых деталей и их загрузка на станки происходит вручную.

Расположение станков осуществляется согласно операциям технологического процесса. Расположение станков, расстояние между станками соответствуют СанПиН 5804-91, СНиП 12-03-2001 и ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ.

Таблица 8.1 – Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологи- ческий процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Фрезеро- вание	Универсально- фрезерная операция	16045 9 Оператор станков с ПУ 4 02 8211	Многоцелевой станок мод. 6P82Г	Сталь 12X18H10T, СОЖ, Велс-1, масло ЛЗ СОЖ 1 МИО
2	Сверление	Сверлильная операция	16045 9 Оператор станков с ПУ 4 02 8211	Многоцелевой станок мод. 6P82Г	Сталь 12X18H10T, СОЖ
3	Резьбо- нарезание	Резьбонарезная операция	16045 9 Оператор станков с ПУ 4 02 8211	Резьбонарезной станок мод. 5991	Сталь 12X18H10T, СОЖ
4	Мойка	Моечная		Моечная машина	Сталь 12X18H10T, Розол-1, 1,6%
5	Сборка- сварка	Сборочная	18336 2 Сварщик на лазерных установках 5 02 7212	Универсальный лазерный комплекс ЛКД4	Сталь 12X18H10T

8.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 8.2 – Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Производственно- технологическая и/или эксплуатационно-технологиче- ская операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
	Многоцелевая операция	Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; повышенный уровень шума на рабочем месте	Многоцелевой станок мод. 6Р82Г, резьбонарезной станок мод. 5991, моечная машина
	Сборочная операция	Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; повышенный уровень шума на рабочем месте, лазерное и инфракрасное излучение	Универсальный лазерный комплекс ЛКД4

8.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков [2], [4]

В целях частичного снижения или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора необходимо подобрать оптимальные организационно-технические методы и технические средства (способы, устройства) защиты.

Таблица 8.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Движущиеся машины и механизмы	Соблюдение правил техники безопасности выполнения работ, блокираторы, отсекатели, ограждения	Каска защитная ГОСТ 12.4.207-99, очки защитные ГОСТ 12.4.253-2013, маска защитная
2	Подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки	Ограждение оборудования, выделение с помощью окрашивания в яркий цвет подвижных частей оборудования	Закрытый комбинезон ГОСТ Р 50962-96, очки защитные
3	Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Применение приточно-вытяжной вентиляции	Респиратор ГОСТ Р 22.9.14-2014

Продолжение таблицы 8.3

4	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Ограждение оборудования, личные средства защиты персонала	Перчатки, защитная маска, очки
5	Повышенный уровень шума на рабочем месте	Наладка и модернизация оборудования и техоснастки, улучшение техпроцесса	Беруши, наушники ГОСТ Р 12.4.209-99
6	Лазерное и инфракрасное излучение	Изоляция техпроцесса, ограждение непрозрачными экранами, окрашивание стен помещения в матовый цвет	Очки со светофильтрами СЗС-22 (ГОСТ 9411 – 66), халат, комбинезон

8.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

Для выявления опасных факторов пожара и разработки средств и методов по улучшению пожарной безопасности объекта необходима идентификация потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара.

В соответствии со строительными нормами и правилами СНИП 11–90–81 пожары классифицируются по виду горючего материала и подразделяются на следующие классы:

- 1) пожары, связанные с горением твердых горючих веществ и конструкционных материалов (А);
- 2) пожары, связанные с воспламенением и горением жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В);
- 3) пожары, связанные с воспламенением и горением газов (С);
- 4) пожары, связанные с воспламенением и горением металлов (D);
- 5) пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е);
- 6) пожары радиоактивных веществ материалов и радиоактивных отходов (F).

К опасным факторам пожара, воздействующим на людей и материальное имущество, относятся:

- 1) пламя и искры;
- 2) тепловой поток;
- 3) повышенная температура окружающей среды;
- 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
- 5) пониженная концентрация кислорода;

б) снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах).

К сопутствующим проявлениям опасных факторов пожара относятся:

1) образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, транспортных средств, энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, агрегатов и трубопроводных нефтегазоамиакопроводов, произведенной и/или хранящейся продукции и материалов и иного имущества;

2) образующиеся радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных пожаром технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества горящего технического объекта;

3) вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;

4) опасные факторы взрыва, возникающие вследствие происшедшего пожара;

5) термохимические воздействия на предметы и людей огнетушащих веществ, используемых при пожаре.

Систематизируем результаты идентификации опасных факторов пожара.

Таблица 8.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Участок механической обработки	Многоцелевой станок мод. 6P82Г, резьбонарезной станок мод. 5991, моечная машина	Пожары, связанные с воспламенением и горением жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В)	Пламя и искры, тепловой поток	Вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества
2	Сборочный участок	Универсальный лазерный комплекс ЛКД4	Пожары, связанные с воспламенением и горением металлов (D)	Пламя и искры, тепловой поток, инфракрасное излучение	Вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества

8.5 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта (дипломного проекта)

Таблица 8.5 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Огнетушители, внутренние пожарные краны, ящики с песком	Пожарные автомобили, пожарные лестницы	Оборудование для пенного пожаротушения	Приборы приемно-контрольные пожарные, технические средства оповещения и управления эвакуацией	Напорные пожарные рукава, рукавные разветвления	Веревки пожарные, карабины пожарные, респираторы, противогазы	Ломы, багры, топоры, лопаты, комплект диэлектрический	Автоматические извещатели, ГГС

Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению возникновения пожара или опасных факторов, способствующих возникновению пожара, можно систематизировать в соответствии с технологическим процессом, оборудованием технического объекта.

Таблица 8.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Многоцелевая операция, многоцелевой станок мод. 6P82Г	Контроль правильной эксплуатации оборудования, содержание оборудования в исправном состоянии, проведение инструктажа по пожарной опасности, применение автоматических устройств обнаружения, оповещения и тушения пожаров	Проведение противопожарных инструктажей, запрет на курение и применение открытого огня в недопущенных местах, соблюдение мер пожарной безопасности при проведении огнеопасных работ, применение средств пожаротушения, применение средств пожарной сигнализации и средств оповещения о пожаре

8.6 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

При реализации технологического процесса возникают негативные (вредные, опасные) экологические факторы. Необходимо разработать конкретные технические и организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду, которое оказывается данным техническим объектом в процессе его производства, технической эксплуатации и конечной утилизации по завершению его жизненного цикла.

8.6.1 Идентификация негативных экологических факторов по виду реализуемого производственно-технологического процесса и осуществляемой функциональной эксплуатацией технического объекта

Таблица 8.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологи- ческого процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка, транспортное средство и т.п.	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующиеся сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) - образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.
Фрезерование	Многоцелевой станок мод. 6P82Г	Продукты горения и испарения СОЖ, ГСМ. Производст- венная пыль	Взвешенные вещества, нефтепродукты	Основная часть отходов идет во вторичную переработку

8.6.2 Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта (дипломного проекта) согласно нормативным документам

Таблица 8.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду (СниП 11–32–74)

Наименование технического объекта	Сборка-сварка полого расширяемого стержня
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Применение механических пылеуловителей, фильтров
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Переход предприятия на замкнутый цикл водоснабжения, применение инновационных технологий очистки сточных вод – абсорберов, песколовок, песковых площадок, усреднителей, флотационных установок, отстойников, илоуплотнителей, биологических фильтров, сооружений для насыщения сточных вод кислородом
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Соблюдении правил хранения отходов производства. В проекте не предусматривается захоронение отходов в землю, т.к. основная масса отходов идет в переплавку (стружка)

8.7 Утилизация технического объекта дипломного проекта после завершения жизненного цикла

Утилизация технического объекта представляет собой простую технологическую задачу. Поскольку изделие изготовлено из однородного материала (нержавеющая сталь), по окончании жизненного цикла оно поступает во вторичное сырье (переплавку) в качестве металлолома.

8.8 Вывод

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса изготовления расширяемого стержня из коррозионностойкой нержавеющей стали 12X18H10T (ГОСТ 5632 – 72) при помощи специальной установки на основе лазерного квазинепрерывного иттербиевого оптоволоконного преобразователя, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы.

Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу изготовления полого стержня, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ.

Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, подобраны средства индивидуальной защиты для работников.

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара. Разработаны средства и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте.

Идентифицированы экологические факторы, разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте.

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА

9.1 Определение содержания и последовательности выполнения научно-исследовательской работы в дипломном проекте [20], [21]

Настоящий дипломный проект характеризуется научно-исследовательской направленностью, в связи с чем большое значение в нем уделялось как разработке методики исследования, так и определению последовательности выполнения отдельных этапов. Дипломному проекту присуща строго определенная последовательность выполнения различного рода действий на протяжении всего процесса исследования. Поэтому его выполнение проводим по очередности, по возможности совмещая и группируя в более крупные по величине и значимости части – этапы и стадии исследовательской работы.

Перечень проводимых работ дипломного проекта приводим в таблице 9.1. Составленный классификатор работ удовлетворяет требованиям сетевого планирования таким образом, чтобы каждая проведенная самостоятельная работа, указанная в перечне, имела определенное содержание и заканчиваясь определенным результатом.

Таблица 9.1 – Приводимый перечень работ при выполнении дипломного проекта научно-исследовательского направления

Стадии проведения исследований	Этапы научно-исследовательской работы	Содержание проводимых работ
Подготовительная стадия	Выполнение комплекса подготовительных работ	1. Составление (получение) задания на НИР
		2. Анализ состояния вопроса. Литературный поиск
Теоретическая разработка	Разработка теоретической части исследования	3. Изучение сущности метода лазерной сварки
		4. Выбор и проектирование необходимых приспособлений

Продолжение таблицы 9.1

		5. Изготовление расширяемого стержня
		6. Расчет режимов и параметров сварки
Экспериментальные работы	Разработка чертежей, проведение комплекса экспериментальных работ	7. Спектральный анализ
		8. Металлографический анализ
		9. Сборка испытательного стенда
		10. Гидравлические испытания опытного образца
		11. Сравнительный анализ полученной информации
Заключительная стадия.	Обобщение, выводы и предложения.	12. Оформление результатов исследования.
		13. Оформление конструкторской и технологической документации.
		14. Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших разработках.
		15. Расчет экономической эффективности предложенного метода.
		16. Написание отчета (пояснительной записки) к дипломному проекту.

9.2 Определение трудоемкости и длительности цикла выполнения научно-исследовательской работы

Согласно методическим указаниям по выполнению экономического раздела дипломного проектирования [21], определяем трудоемкость и длительность цикла выполнения НИР:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{ож}}/P, \quad (9.1)$$

$$T_{\text{ож}} = (3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}})/5, \quad (9.2)$$

$$T = f(D_{\text{ц}} * P), \quad (9.3)$$

Количество исполнителей задействованных в проведении научно-исследовательской работы принимаем равным $P = 3$ человека. Результаты расчета представим в виде таблицы 9.2.

Таблица 9.2 – Расчет трудоемкости и длительности цикла выполнения НИР

№ этапов	№ работ	Трудоемкость выполнения работ, дней.			Численность работников.				Длительность выполнения работ и этапов с учетом численности работников, дней
		T _{min}	T _{max}	T _{ож}	Руков. проекта	Вед. инженер	Студент	Итого	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	7	4	1	1		2	2
	2	8	13	10			1	1	10
Итого				14					12
2	3	12	17	14		1	1	2	7
	4	2	5,5	3		1		1	3
	5	8	13	10		1	1	2	5
	6	4	8,5	5		1	1	2	2,5
Итого				32					17,5
3	7	1	4,5	2		1	1	2	1
	8	4	8,5	5		1	1	2	2,5
	9	8	13	10		1	1	2	5
	10	2	7	4		1	1	2	2
	11	10	15	12		1	1	2	6
Итого				33					16,5
4	12	8	13	10			1	1	10
	13	8	13	10			1	1	10
	14	4	8,5	5			1	1	5
	15	2	5,5	3			1	1	3
	16	8	13	10			1	1	10
Итого				38					38
Всего				117					84

В нашем случае ожидаемая трудоемкость выполнения всего комплекса научно-исследовательских работ составляет 84 человеко-дней и длительность цикла выполнения проекта с учетом численности исполнителей составляет 84 дня.

Для разработки сетевого графика необходимо предварительно составить перечень событий и работ (таблица 9.3).

Таблица 9.3 – Перечень событий и работ по выполнению НИР

№ событий	Наименование работ и событий	Шифр работ	Продолжительность работ, дни
0.	Решение о выполнении научно-исследовательской работы принято		
1.	Составление (получение) задания на НИР	0-1	2
2.	Анализ состояния вопроса, литературный поиск	0-2	10
3.	Изучение сущности метода лазерной сварки	2-3	7
4.	Выбор и проектирование необходимых приспособлений	3-4	3
5.	Изготовление расширяемого стержня	4-5	5
6.	Расчет режимов и параметров сварки	4-6	2,5
7.	Спектральный анализ	5-7	1
8.	Металлографический анализ	7-8	2,5
9.	Сборка испытательного стенда	8-9	5
10.	Гидравлические испытания опытного образца	8-10	2
11.	Сравнительный анализ полученной информации	10-11	6
12.	Оформление результатов исследования	11-12	10
13.	Оформление конструкторской и технологической документации	12-13	10
14.	Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших разработках	12-14	5
15.	Расчет экономической эффективности предложенного метода	13-15	3
16.	Написание отчета (пояснительной записки) к дипломному проекту	15-16	10

9.3 Расчет ранних и поздних сроков свершения событий, определение резерва времени и построение сетевого графика

По данным таблицы 9.3 и согласно методическим указаниям по выполнению экономического раздела дипломного проектирования [21], определяем необходимые параметры для построения сетевых графиков (рисунки 9,1 и 9,2):

$$T_{p+1} = T_{pi} + D_{i-(i+1)}, \text{ дней} \quad (9.4)$$

$$T_{п-1} = T_{пи} - D_{i-(i-1)}, \text{ дней} \quad (9.5)$$

$$R = T_{пи} - T_{pi}, \text{ дней} \quad (9.6)$$

$$T_{\text{опт}} = \Sigma T_i / m, \text{ дней} \quad (9.7)$$

Этапы оптимизации заносим в таблицу 9.4.

Таблица 9.4 – Этапы оптимизации

Путь	I этап			II этап			III этап			IV этап		
T ₁	2	+7,5	9,5	6	-1,75	4,25	5	+1,5	6,5	13	-4	9
T ₂	17	-7,5	9,5	2,5	+1,75	4,25	8	-1,5	6,5	5	+4	9

Сетевой график

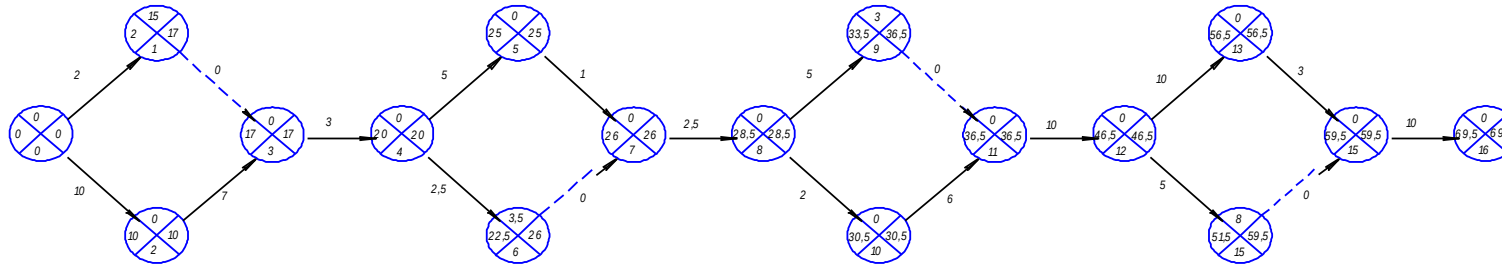


Рисунок 9.1 График до оптимизации

Ñòò ââî é ãðàò èé(î î ò èì èçèðî ââî ùé)

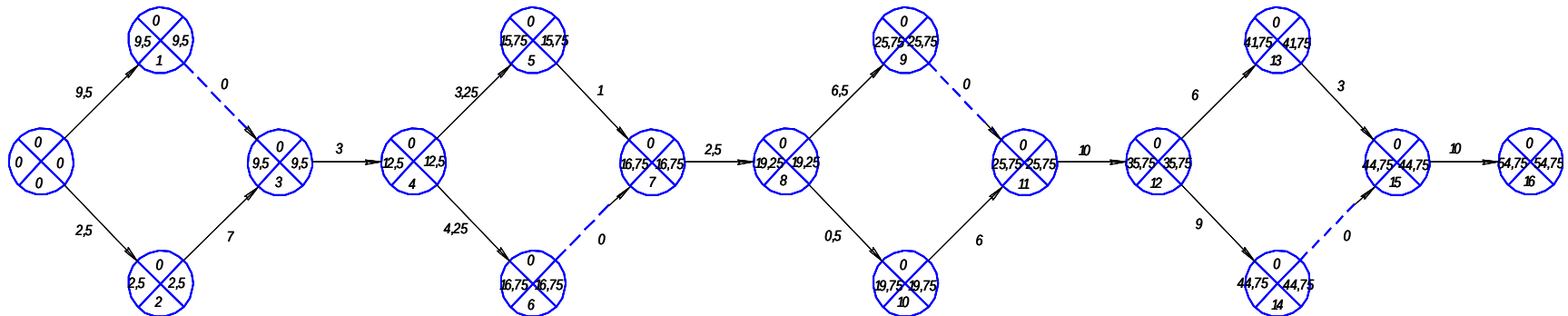


Рисунок 9.2 График после оптимизации

9.4 Определение состава и фонда заработной платы

Состав исполнителей по каждой теме проекта определяется штатным расписанием, в котором одновременно рассматривается и фонд заработной платы исполнителей (таблица 9.5).

$$З_{пл} = M_0 / D_p * D_{ф}, \text{ руб.} \quad (9.9)$$

Таблица 9.5 – Штатное расписание исполнителей и расчет фонда заработной платы

Наименование должностей	Численность (чел.)	Месячный оклад (руб.)	Средняя ставка (руб.)	Количество отработанных дней	Сумма заработной платы, руб.
Научный руководитель 15 разряд	1	18700	104,08	4	3330,56
Инженер-технолог (6 разряд)	1	13000	72,50	69	40020
Инженер (студент) 9 разряд	1	1500	38,76	110	34108,8
Итого:					77459,36

9.5 Определение затрат на НИР

Затраты на проведение НИР в нашем случае состоят из текущих затрат на проведение исследований.

Основные текущие затраты на проведение НИР определим по формуле:

$$C_{НИР} = З_{пл} + Н_{зпл} + М + Р_э + Р_а, \text{ руб.} \quad (9.10)$$

Затраты по заработной плате принимаем согласно таблице 9.5

$$З_{пл} = 77459,36 \text{ руб.}$$

Отчисление на социальное страхование (30% от заработной платы)

$$Н_{зпл} = 23237,8 \text{ руб.}$$

Затраты на основные вспомогательные материалы определим по формуле:

$$M = H_p * C_m * K_{тз} - B_{отх} * C_{отх}, \text{ руб.} \quad (9.11)$$

где H_p – норма расхода материала на проведение исследования, принимаем

$$H_p = 3 \text{ кг}$$

C_m – цена единицы веса материала, принимаем $C_m = 780,6 \text{ руб./кг}$

$K_{тз}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов, принимаем $K_{тз} = 1,0$

$B_{отх}$ – вес реализуемых отходов, принимаем $B_{отх} = 0,3 \text{ кг}$

$C_{отх}$ – цена единицы веса отходов, принимаем $C_{отх} = 200,81 \text{ руб./кг}$

Определим затраты на основные и вспомогательные материалы

$$M = 3 * 780,6 * 1,0 - 0,3 * 200,81 = 2281,55 \text{ руб.}$$

Таблица 9.6 – Комплект закупаемого оборудования и запчастей

№ изделия	Наименование изделия	Количество	Цена на ед. изделия, руб.	Сумма, руб.
1	Основание для приспособления	1	1800	1800
2	Прижим	4	185	740
3	Стойка	4	85	340
4	Болт М12х120; ГОСТ 7798-70	4	28	112
5	Гайка М12	4	10	40
6	Шайба Ø12; ГОСТ 6402-70	4	3	36
7	Комплект деталей для сварки стержня	10	250	2500
8	Газ Аргон 99,996%; ГОСТ 949-73	1	900	900
			Итого:	6468

Затраты на электроэнергию определим по формуле:

$$P_3 = [(M_y \times K_m \times T_m \times n)/(\eta \times 60)] \times C_3, \text{ руб.} \quad (9.12)$$

где n – число экспериментов ($n = 10$);

M_y – установленная мощность, кВт ($M_y = 19,9$ кВт);

K_m – коэффициент использования токоприемников по мощности ($K_m = 0,95$);

T_m – машинное время на один эксперимент ($T_m = 20$ мин.);

η – КПД электродвигателя ($\eta = 0,65$);

C_3 – цена за один киловатт электроэнергии ($C_3 = 2,582$ руб.).

Затраты на электроэнергию для проведения одного эксперимента равны:

$$P_3 = [(19,9 \times 0,95 \times 20 \times 10)/(0,65 \times 60)] \times 2,582 = 250,32 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные со спецификой и характером проведения научных исследований (приобретение специальной литературы), не учитываем.

$$C_{\text{НИР}} = Z_{\text{пл}} + H_{\text{зпл}} + M + P_3 + P_a, \text{ руб.};$$

$$C_{\text{НИР}} = 77459,36 + 23237,8 + 6468 + 2281,55 + 250,32 = 109697,03 \text{ руб.}$$

(рис. 9.3).

Таблица 9.7 – Смета затрат на выполнение НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.	Процент к общему итогу
Затраты на заработную плату	77459,36	71
Отчисления на социальное страхование	23237,8	21,1
Комплект деталей и вспом. материалов	6468	5,8
Затраты на материал	2281,55	2
Затраты на электроэнергию	250,32	0,2
Итого:	109697,03	100

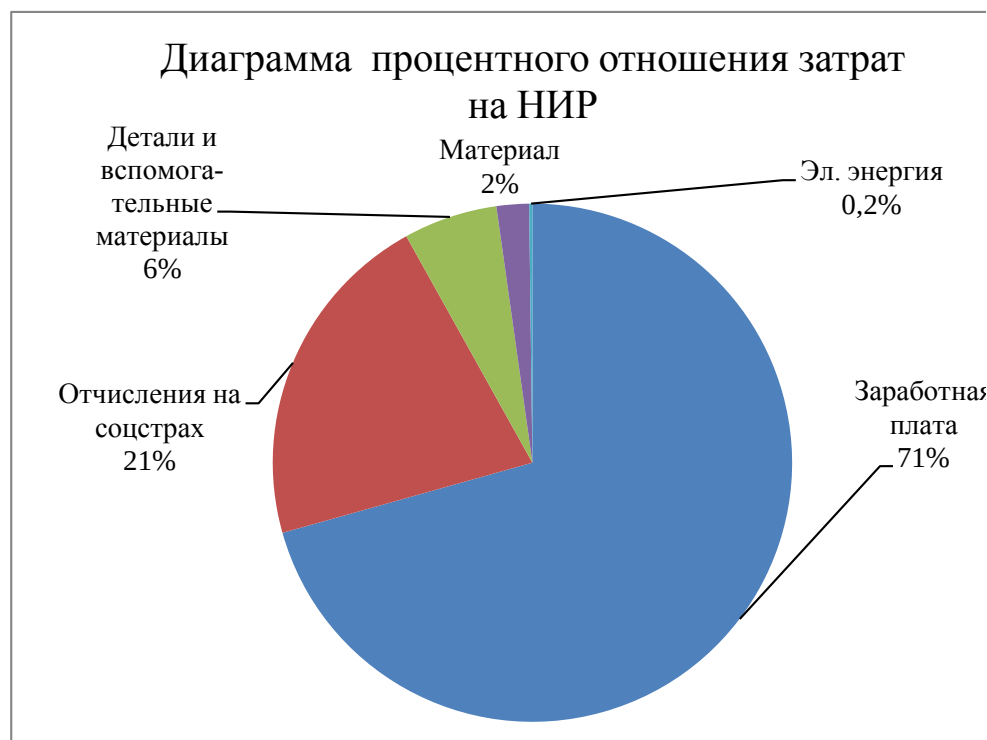


Рисунок 9.3 Диаграмма процентного отношения затрат на НИР

В настоящей исследовательской работе был разработан техпроцесс сборки-сварки тонкостенных полых оболочек и проведены испытания опытных образцов. В ранее предлагаемых техпроцессах при изготовлении изделия процент брака составлял 80% и более. Исследования показали, что инновационный метод сварки таких изделий дает право предполагать в дальнейшем снижение брака на 99%.

В силу инновационности в данное время эта разработка не применяется в производстве, поэтому говорить об экономическом эффекте данной технологии преждевременно. В разделе представлены только расчеты затрат на исследовательскую работу, которые составляют 109697,03 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта была решена задача, актуальная для машиностроительной отрасли нашей страны, – предложена технология сборки-сварки узлов тонкостенных оболочек с использованием современных лазерных оптоволоконных излучателей. До настоящего момента подобных технологий в России не разрабатывалось.

Предложенная технология по своему исполнению адаптирована для сварки всего перечня подобных оболочек (с толщинами стенок до 0,1 мм).

Спроектировано приспособление для сварки комплектующих компонентов оболочек.

Проведены механические испытания изготовленных изделий.

Результаты исследований, представленные в работе, в настоящий момент применяются в действующих технологических процессах (при создании оболочек, используемых для медицины, в производстве датчиков и измерительной аппаратуры, приборостроении). Результаты экспериментов и изделий, получаемых при использовании таких лазерных технологий, говорят об эффективности принятых технических решений.

Экономические расчеты показали целесообразность внедрения предлагаемых технических решений в производственную практику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 ГОСТ Р 51827-2001. Тара. Методы испытаний на герметичность и гидравлическое давление. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.
- 2 Методическое пособие по организации безопасной эксплуатации лазеров, Самара-М. : Издательство НТИУЦ Лазерной Ассоциации России, 2003.
- 3 ПБ 03-584-03. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных. СПб. : ЦОТПБСППО, 2010. – 100 с.
- 4 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). – М. : Атомиздат, 1986.
- 5 СанПиН 5804–91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров. – М. : Минздрав СССР, 1991.
- 6 СНиП 12-03-2001. – М. : Издание ГУП ЦПП Госстроя России, 2001.
- 7 Бабаков, А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. / А. А. Бабаков, М. В. Приданцев. – М. : Metallurgy, 1971. – 320 с.
- 8 Блюменштейн, В. Ю. Проектирование технологической оснастки, учеб. пособие для вузов / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. – Изд. 3-е, стер., гриф УМО. – СПб. : Лань, 2014. – 219 с.
- 9 Бычков, В. Я. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. [Электронный ресурс] / В. Я. Бычков, А. А. Павлов, Т. И. Чибисова. – Электрон. дан. – М. : МИСИС, 2009. – 146 с.
- 10 Вардашкин, Б. Н. Станочные приспособления [Справочник]. В 2 т. Т. 1 / под ред. Б. Н. Вардашкина – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с.
- 11 Вардашкин, Б. Н. Станочные приспособления [Справочник]. В 2 т. Т. 2 / под ред. Б. Н. Вардашкина – М. : Машиностроение, 1984. – 655 с.
- 12 Горбачев, А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения [учебное пособие для вузов] / А. Ф. Горбачев, В. А. Шкред –

М. : Альянс, 2007. – 256 с.

13 Горина, Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. / Л. Н. Горина – Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 33 с.

14 Горохов, В. А. Проектирование технологической оснастки : учеб. для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков – Гриф УМО. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 431 с.

15 Григорьев, С. Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ [Справочник] / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов ; под общ. ред. А. Р. Маслова. – М. : Машиностроение, 2006. – 544 с.

16 Дальский, А. М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А. М. Дальский [и др.], под ред. А. М. Дальского . – 5-е изд., испр. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 910 с.

17 Дальский, А. М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. М. Дальский [и др.], под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., испр. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 941 с.

18 Ермолаев, В. В. Технологическая оснастка. Лабораторно-практические работы и курсовое проектирование [учеб. пособ.]. – М.: Академия, 2012. – 320 с.

19 Зубарев, Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении [Электронный ресурс], учебник. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2015. – 309 с.

20 Зубкова, Н. В. Методические указания по экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей / Н. В. Зубкова – к.э.н., доцент. Тольятти : ТГУ, 2005.

21 Зубкова, Н. В. Учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела дипломного проекта для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения». / Н. В. Зубкова – к.э.н., доцент. Тольятти : ТГУ, 2012. – 123 с.

22 Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко [и др.], под ред. А. С. Зубченко. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 782 с.

23 Йех, Я., Термическая обработка стали. [Справочник.] / Я. Йех. 3-е изд. Пер. с чешского. М. : Metallurgia, 1979.– 264 с.

24 Ковшов, А. Н. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. Н. Ковшов. Изд. 2-е, испр., Гриф УМО. – СПб. : Лань, 2008. – 319 с.

25 Лебедев, В. А. Технология машиностроения. Проектирование технологий изготовления изделий.[учеб. пособие для вузов] / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. – Гриф УМО. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 361 с.

26 Маталин, А. А. Технология машиностроения , учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. – Изд. 3-е, стер., Гриф УМО. – СПб. : Лань, 2010. – 512 с.

27 Расторгуев, Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс], электрон. учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев, ТГУ, Ин-т машиностроения, каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". – Тольятти : ТГУ, 2015. – 140 с.

28 Расторгуев, Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев, ТГУ, Ин-т машиностроения, каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". – ТГУ, Тольятти : ТГУ, 2013. – 51 с.

29 Суслов, А. Г. Технология машиностроения. [учеб. для вузов] / А. Г. Суслов. – 2-е изд., перераб. и доп. Гриф МО. – М. : Машиностроение, 2007. – 429 с.

30 Тарабарин, О. И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении.[учеб. пособие для вузов] / О. И. Тарабарин, А. П. Абызов, В. Б. Ступко. – Изд. 2-е, испр. и доп., гриф УМО. – СПб. : Лань, 2013. – 303 с.

31 Фиргер, И. В. Термическая обработка сплавов. [Справочник.] / И. В. Фиргер. – Л.: Машиностроение, 1982. – 304 с.

32 Химушин, Ф.Ф. Нержавеющие стали. / Ф.Ф. Химушин. Изд. 2-е, пер. и доп.– М. : Металлургия, 1967. – 698 с.