

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра **«Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»**

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

**«Современные технологические процессы изготовления деталей в
машиностроении»**

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Ремонтная сварка чугуновых узлов и деталей

Студент

А.Ю.Крылов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст.преподаватель Д.И. Плахотный

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Цель данной выпускной квалификационной работы - повышение ресурса чугунных деталей путем разработки эффективного способа ремонта повреждений, полученных в процессе эксплуатации.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи: проанализированы известные способы ремонтной сварки чугунных деталей, описан неудачный опыт ремонтной сварки без подогрева, разработана альтернативная технология восстановления чугунных деталей; спроектирован сварочный цех, предназначенный для ремонтной сварки изношенных изделий.

В качестве альтернативной технологии была предложена высокотемпературная пайка.

В работе был выполнен анализ опасных и вредных производственных факторов альтернативной технологии, разработаны меры по их нейтрализации.

Учитывая неудачный опыт холодной сварки, экономический анализ показал эффективность применения альтернативной технологии.

Abstract

The purpose of this graduation qualification work is to increase the life of cast iron parts by developing an effective method for repairing damages obtained during operation.

To achieve the goal, the following tasks were completed: the known methods of repair welding of cast iron parts were analyzed, the unsuccessful experience of repair welding without heating was described, an alternative technology for restoring cast iron parts was developed; welding shop designed for repair welding of worn products.

In this work, analysis of known repair welding methods has shown the versatility of cold welding and soldering. The unsuccessful experience of repairing a cast iron part by cold welding was described. Based on the analysis of known methods of repair and experience of cold welding, it was decided to use high-temperature soldering as an alternative technology. Hydraulic tests showed that a qualitative compound was obtained as a result of this technology.

As part of the work, a welding workshop was designed to repair cast iron parts. This welding shop is distinguished by its versatility, because it allows you to perform repair welding not only cast iron parts, but also products from other metals.

One of the chapters of the work is the economic efficiency of the proposed technology. In the chapter, economic calculations were made. Calculations showed that the alternative technology was more expensive than the unsuccessful experience of repair by cold welding. However, the effectiveness of the alternative technology is much higher.

As a result, an alternative technology was proposed in this work. Successful hydraulic tests after soldering and uninterrupted operation indicate the high efficiency of this technology.

Содержание

Введение.....	6
1 Анализ исходных данных.....	8
1.1 Описание конструкции маслонасоса.....	8
1.2 Анализ свойств серого чугуна.....	9
1.3 Анализ дефектов и трудностей, возникающих при сварке.....	12
1.4 Задачи работы.....	13
2 Анализ технологий ремонта корпуса масляного насоса.....	14
2.1 Способы восстановления чугунных изделий.....	14
2.2 Материалы, применяемые для восстановления чугунных деталей.....	20
3 Описание ремонтной дуговой сварки без подогрева изделия.....	25
4 Разработка технологического процесса альтернативной технологии ремонтной сварки корпуса масляного насоса.....	28
4.1 Выбор альтернативной технологии ремонта корпуса маслонасоса.....	28
4.2 Технологический процесс альтернативного способа ремонтной сварки чугунной детали.....	29
4.3 Результаты контроля качества.....	32
5 Проектирование сварочных цехов и участков.....	34
5.1 Определение типа производства и разработка плана мероприятий для ремонта изделия.....	34
5.2 Расчёт количества оборудования и производственных рабочих.....	35
5.2.1 Расчёт количества производственных рабочих.....	35
5.2.2 Расчёт количества единиц оборудования.....	36
5.2.3 Определение наименований и габаритов оборудования.....	36
5.2.4 Расчёт общей площади с учётом количества оборудования.....	37
5.2.5 Расчёт склада металла.....	38
5.3 Технологический процесс альтернативной технологии восстановления корпуса маслонасоса.....	38

6	Безопасность и экологичность проекта.....	41
6.1	Технологическая характеристика объекта.....	41
6.2	Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений.....	42
6.3	Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	44
6.4	Обеспечение пожарной безопасности.....	45
6.5	Обеспечение экологической безопасности.....	47
7	Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.....	50
7.1	Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов.....	50
7.2	Расчёт нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	52
7.3	Расчёт затрат на новое оборудование.....	54
7.4	Расчёты по оплате труда.....	60
7.5	Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	63
	Заключение.....	66
	Список используемой литературы и используемых источников.....	67

Введение

Продолжительная эксплуатация механизмов и узлов чревата поломками и иными разрушениями, после которых их применение не является возможным. В ряде случаев восстановление изношенной детали экономически целесообразно её замены, поэтому важным вопросом является ремонт поврежденного изделия. Наибольший приоритет в изготовлении различных деталей в машиностроении даётся чёрным металлам – стали и чугуну.

Чугун – литейный сплав системы «железо-углерод» с содержанием углерода больше 2,14%. Кроме этого, в содержание чугуна также входят кремний, сера, фосфор и марганец. Высокие литейные свойства при небольшой стоимости обуславливают широкое применение чугунов для изготовления фасонных отливок [5]. Данные изделия имеют хорошую прочность, значительную твёрдость, высокое сопротивление износу. В машиностроении при изготовлении деталей преобладает серый чугун. Так из серого чугуна изготавливают блоки цилиндров, тормозные колодки, шлаковые чаши и многие другие ответственные детали, в том числе и корпус масляного насоса, на примере которого и будет рассмотрен технологический процесс ремонтной сварки чугунной детали.

Технология восстановления деталей из чугуна путем сварки осуществляется в двух аспектах: с подогревом ремонтируемого элемента и без подогрева [9]. Восстановление работоспособности изделия методом сварки имеет ряд сложностей: значительное количество углерода в составе чугуна, высокая скорость охлаждения, образование трещин при сварке и другое. Всё это делает чугун трудносвариваемым материалом, поэтому основополагающая роль при ремонте деталей отдается технологии сварки, в частности её температурному режиму.

В настоящее время разработано немало технологий ремонтной сварки чугунных деталей, каждая из них представляет собой достаточно сложный процесс, учитывая требовательность чугуна в соблюдении температурного

режима. Самым надёжным способом сварки чугунных изделий является горячая сварка. Применение предварительного подогрева перед ремонтной сваркой позволит уменьшить скорость охлаждения наплавленного металла и предотвратить образование твёрдых закалочных структур, вместе с этим произойдёт ослабление общего напряжённого состояния и предотвращение трещинообразования [9]. Но ввиду некоторых обстоятельств: размеры деталей, технические возможности предприятия и т.д., применение горячей сварки не представляется возможным. В этих случаях целесообразно использовать другие альтернативные способы – холодную сварку и пайку.

Холодная сварка является наиболее простым в технологическом отношении методом. Однако данный тип ремонта имеет ряд недостатков: появление трещин после сварки, отбеливание чугуна, которое приведёт к хрупкости ремонтируемого элемента и затруднённости механической обработки [3].

Ремонтная сварка будет рассмотрена на примере заварки трещины корпуса масляного насоса газовой технологической турбины линии УКЛ-7, предназначенной для производства азотной кислоты. Ремонтная сварка производилась сотрудниками ПАО «КуйбышевАзот», Тольятти.

Целью данной работы является повышение ресурса чугунных деталей путем разработки эффективного способа ремонта повреждений, полученных в процессе эксплуатации.

1 Анализ исходных данных

1.1 Описание конструкции маслонасоса

Ремонтная сварка чугунной детали рассматривается на примере заварки трещины корпуса шестерённого маслонасоса. Данный масляный насос выполняет важную роль в перекачке технических жидкостей в газотурбинной установке ГТТ -3м, работающей в системе технологической линии по производству азотной кислоты УКЛ -7. Шестеренные насосы по типу зацепления шестерён делятся на 2 вида: внешнего и внутреннего. Рассматриваемый масляный насос с внешним типом зацепления. Система работы маслонасоса заключается в подаче жидкости двумя одинаковыми шестерёнками, находящимися в зацеплении друг с другом (рисунок 1). При этом ведущая шестерня жёстко посажена на приводном валу с помощью шпонки или на шлицах, а ведомая свободно вращается на оси. Шестерни перемещены в корпус, который охватывает их с минимальным зазором [15]. Перекачиваемая из полости с низким давлением жидкость заполняет впадины между зубьями и перемещает в полость с высоким давлением, откуда вытесняется в напорную линию.



Рисунок 1 – Корпус шестерённого масляного насоса

Шестеренные насосы данного типа могут обладать следующими характеристиками:

- скорость вращения шестерён не более 3800 об/мин;
- значение рабочего давления не более 280 бар;
- мощность не более 85 кВт;
- показатели объёма могут составлять от 0,5 до 250 см³;
- подача до 60 м³/ч;
- температура перекачиваемой жидкости не более 350°С;
- вязкость жидкости до 100 000 сСт.

Работоспособность данного насоса позволяет перекачивать различные жидкости:

- высокотемпературные вязкие жидкости
- нефтепродукты (нефть, мазут, масла и т.д.)
- легко остывающие жидкости (парафин), глицерин, кислоты, эпоксидные смолы и т.д.

Преимущества шестеренного маслонасоса:

- перекачивание высокотемпературных вязких жидкостей;
- создание большого давления при меньшем энергопотреблении;
- подача ровного не пульсирующего постоянного потока перекачиваемой жидкости;
- простота конструкции;
- удобство обслуживания.

1.2 Анализ свойств серого чугуна

Ряд проблем, затрудняющих работу агрегатов, так или иначе, связано с системой смазки. Во избежание всего этого к маслонасосам предъявляются значительные требования. Этим требованиям удовлетворяет чугун, поэтому и корпус маслонасоса изготавливают методом чугунного литья. По ГОСТ 1412-

85: для изготовления отливок предусматриваются следующие марки чугуна: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35.

По требованию потребителя для изготовления отливок допускаются марки чугуна СЧ18, СЧ21 и СЧ24. На таблицах 1 и 2 показаны химический состав и физические свойства марок чугуна, из которых изготавливаются корпуса маслонасосов [6]. Цифра после букв «СЧ» (серый чугун) показывает значение минимального временного сопротивления при растяжении (в МПа $\cdot 10^{-1}$).

Таблица 1 – Состав марок чугуна

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
				Не более	
СЧ10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ30	3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ35	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,1	0,2	0,12

Таблица 2 - Физические свойства чугуна с пластинчатым графитом

Марка чугуна	Плотность ρ , кг/м ³	Линейная усадка, ϵ , %	Модуль упругости при растяжении, $E \cdot 10^{-2}$ МПа	Удельная теплоёмкость при температуре от 20 до 200 °С, С, Дж/(кг·К)	Коэффициент линейного расширения при температуре от 20 до 200 °С, а 1/°С	Теплопроводность при 20 °С, λ , Вт/(м·К)
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
СЧ10	$6,8 \cdot 10^3$	1,0	От 700 до 1100	460	$8,0 \cdot 10^{-6}$	60
СЧ15	$7,0 \cdot 10^3$	1,1	От 700 до 1100	460	$9,0 \cdot 10^{-6}$	59
СЧ20	$7,1 \cdot 10^3$	1,2	От 850 до 1100	480	$9,5 \cdot 10^{-6}$	54
СЧ25	$7,2 \cdot 10^3$	1,2	От 900 до 1100	500	$10,0 \cdot 10^{-6}$	50
СЧ30	$7,3 \cdot 10^3$	1,3	От 1200 до 1450	525	$10,5 \cdot 10^{-6}$	46
СЧ35	$7,4 \cdot 10^3$	1,3	От 1300 до 1550	545	$11,0 \cdot 10^{-6}$	42

Структура металлической основы, форма и расположение графита определяют механические свойства серого чугуна. Графит в чугуне находится в пластинчатом виде в независимом состоянии [17]. Серый чугун отличается относительно невысокой прочностью и низкой пластичностью. Несмотря на это, структура чугуна формирует ряд полезных свойств. Данный металл имеет невысокую чувствительность к внешним концентраторам напряжений при циклических нагрузках, циклическую вязкость и высокие антифрикционные свойства.

Серый чугун, по сравнению со сталью, отличается лучшими литейными свойствами. Низкая температура кристаллизации, высокая текучесть в жидком состоянии, малая объёмная усадка, устойчивость к трещинообразованию и порам, отсутствие склонности к образованию раковин – все эти качества позволяют применять серый чугун в производстве деталей методом литья. Такие изделия хорошо обрабатываются абразивным инструментом и при невысоких скоростях скольжения удовлетворительно сопротивляются износу.

1.3 Анализ дефектов и трудностей, возникающих при сварке

Ремонтная сварка чугуна подразумевает исправление дефектов детали, появившихся в процессе эксплуатации. Характерными дефектами, приобретаемыми в процессе эксплуатации, являются трещины (рисунок 2), пробоины, обломы, сколы, срыв или износ резьбы в отверстиях и др.



Рисунок 2 – Трещина в корпусе маслонасоса

Чугун является трудносвариваемым материалов, сварка чугуна усложняется в виду его свойств: высокое содержание углерода, низкая пластичность и ударная вязкость, высокая чувствительность к нагреву, необратимые изменения объёма при нагреве и охлаждении чугуна [9].

Сварка чугуна сопровождается следующими затруднениями:

- образование цементита в сварном шве вследствие выгорания кремния и быстрого понижения температуры;
- трудности при обработке абразивным инструментом ввиду высокой твёрдости отбеленных участков;
- большая склонность к трещинообразованию в сварном шве и околошовной зоне;
- образующиеся при сварке чугуна тугоплавкие окислы с температурой плавления около 1400 °С [9];

- склонность к образованию пор в металле шва.

Качество сварного соединения при ремонтной сварке чугунных деталей определяется:

- возможностью обработки наплавленного слоя абразивным инструментом;
- аналогичными показателями твёрдости металла шва, зоны термического влияния и основного металла;
- одинаковым запасом прочности сварного соединения и основного металла;
- аналогичным химическим составом и структурой наплавленного и основного металлов.

1.4 Задачи работы

Целью данной работы является повышение ресурса чугунных деталей путем разработки эффективного способа ремонта повреждений, полученных в процессе эксплуатации.

Ремонтная сварка чугуна является актуальной темой в промышленности. Качественное восстановление изношенных деталей может значительно сэкономить финансовые ресурсы предприятия, при этом не нанести весомого ущерба его производительности. На данный момент известно немало технологий по исправлению дефектов чугунных изделий. Выбор технологий и присадочного материала настолько обширен, что практически любое предприятие независимо от своих возможностей может выполнить ремонтную сварку (или пайку) вышедшего из строя чугунного агрегата.

Для достижения цели работы необходимо:

- проанализировать известные технологии ремонтной сварки и пайки чугунных изделий;
- рассмотреть опыт ремонта корпуса масляного насоса методом холодной сварки на предприятии ПАО «КуйбышевАзот»;
- разработать альтернативную технологию ремонта;
- спроектировать сварочный цех для ремонтной сварки чугуна.

2 Анализ технологий ремонта корпуса масляного насоса

2.1 Способы восстановления чугунных изделий

Ремонтная сварка чугунных деталей выполняется в двух аспектах: с предварительным подогревом изделия (горячая сварка) и без предварительного подогрева (холодная сварка).

К горячей сварке относятся способы:

- газовой сварки чугунной присадкой или присадок из цветных металлов;
- электродуговой сварки угольным электродом с чугунной присадкой, чугунным электродом и стальным электродом со стабилизирующей обмазкой.

Ремонтная сварка без предварительного подогрева может выполняться:

- электродуговой сваркой стальными электродами или электродами из цветных металлов;
- газовой низкотемпературной сваркой чугунной присадкой;
- низкотемпературной сваркой-пайкой латунными припоями;
- пайкой.

Предварительный подогрев детали в ходе горячей сварки позволяет уменьшить скорость охлаждения наплавленного металла, что препятствует образованию твердых закалочных структур. Помимо этого, предварительный подогрев перед сваркой позволит уменьшить общее напряженное состояние свариваемого изделия и предотвратить образование трещин. Большую часть деталей подогревает до температур 400...450 °С, если речь идёт о восстановлении сложных и жёсткий элементов температура повышается в пределах 550...600 °С. Горячая сварка выполняется только в нижнем положении.

К методам горячей сварки входит ацетиленокислородная сварка. Газовая сварка позволяет обеспечивать нужную скорость нагрева и охлаждения при сварке, корректировать нагреваемые зоны ремонтируемой

детали, а также контролировать скорость заполнения сварочной ванны присадочным металлом. Данный способ применяется преимущественно при ремонте мелких изделий, а также крупногабаритных ответственных деталей со значительным весом.

Сварка чугунных деталей угольным или графитовым электродом происходит при более высоких температурах сварочной ванны, по сравнению с ацетиленокислородной сваркой. Режимы сварки угольным электродом указаны на таблице 3. Применяемый при сварке флюс позволяет очистить свариваемую поверхность от окислов и загрязнений, растворить легкоплавкие соединения, защитить расплавленную ванну от окисления, а также увеличить смачиваемость основного металла.

Таблица 3 – Режимы сварки угольным электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
6-10	8-10	280-350
10-20	10-12	300-400
20-30	12-16	350-500

Горячую электродугую сварку чугунным электродом используют в тяжёлых чугунных отливках при исправлении крупных литейных дефектов [9]. Для стабилизации дугового промежутка, защиты от выгорания электродного металла и переноса через дуговой промежуток применяют различные обмазки. Электроды марки ОИЧ-1 нашли широкое применение в сварке чугуна с предварительным подогревом. Электроды ОИЧ-1 изготавливают из чугунного стержня марок А и Б диаметром 10...18 мм с обмазкой. В таблице 4 указан состав данных стержней. Обязательно при ремонте дефектный участок должен быть заформован. Формовка выполняется

графитовыми, угольными или коксовыми пластинами. Подготовленная деталь подвергается нагреву до 350...400 °С [9].

Таблица 4 -Состав чугунных стержней для сварки чугуна

Марка	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Назначение
А	3,0 ... 3,5	3,0 ... 3,4	0,5... 0,8	0,2...0,4	До 0,08	До 0,05	До 0,3	Для горячей сварки
Б		3,5 ... 4,0		0,3 ... 0,5				

Несмотря на положительное влияние предварительного подогрева на процесс горячей сварки, данные способы ремонта имеют ряд недостатков, таких как: предварительный подогрев до высокой температуры (400...600°С), большая трудоёмкость процесса, наличие необходимого оборудования для предварительного подогрева и охлаждения и высокая технологическая себестоимость.

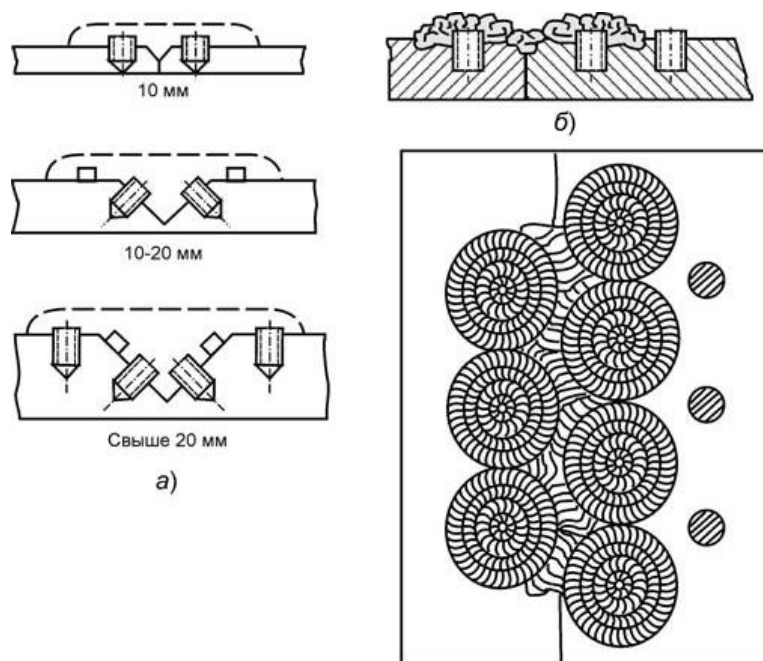
Широко используются способы ремонта чугунных изделий без предварительного нагрева.

Применение холодной сварки в качестве способа восстановления изношенных деталей подразумевает применение стальных электродов и электродов из цветных металлов.

При сварке стальными электродами металл в зоне сварки закаливается и отбеливается. Для предотвращения данных последствий прибегают к технологическим приёмам, способным снизить твёрдость, хрупкость и склонность к трещинообразованию в переходных зонах и в первых слоях наплавки. Данные приёмы заключаются в применении электродов малого диаметра (3-4 мм), наплавку первых слоёв на режимах с малой погонной энергией, уменьшение силы тока (90...150 А) и др. В результате улучшается структура переходных зон и увеличивается пластичность первого слоя, однако

полностью предупреждение трещин и закалки не выполняется. Из ряда применяемых электродов хорошо зарекомендовали себя электроды марки УОНИ 13/55, которые обеспечивают качественное соединение. Применение электродов марки ЦЧ-4 позволяет обрабатывать наплавленный металл режущим инструментом.

Широко известен метод ремонта стальными электродами с применением шпилек. Данный вид ремонта применяется при восстановлении крупных массивных изделий (рисунок 3). Шпильки используют для увеличения прочности сварного соединения, при отсутствии других требований к наплавленному металлу. Шпильки ввёртывают в свариваемое изделие, размеры шпилек подбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей. Устанавливают шпильки в шахматном порядке на скошенных краях деталей и в один ряд на поверхности детали с каждой стороны стыка, расстояние между ними должно соответствовать 4-6 диаметрам шпильки.



а -установка шпилек; б – обварка шпилек

Рисунок 3 – Сварка стальными электродами с применением шпилек

Холодную ручную дуговую сварку с применением электродов из цветных металлов используют с целью получить сварное соединение,

обрабатываемое абразивным инструментом [18]. Электроды с медью и никелем позволяют получать наплавочный металл с 80-90% прочности от основного металла. Также прочное соединение и удовлетворительную обрабатываемость обеспечивают электроды из меди и железа [1].

Электроды, в состав которых входит никель, применяют для заварки дефектов, которые были обнаружены при механической обработке, где местное повышение твердости недопустимо. Для этого используют медно-никелевые и железоникелевые сплавы, такие как: «Монель» (с содержанием никеля 65-75%, меди 27-30%, железа 2-3%, марганца 1,2-1,8%) и «Мельхиор» (с 80% содержанием никеля и 20% меди).

По сравнению с стальными и медно-железными электродами, применение данных сплавов обеспечивает значительно меньшее отбеливание переходной зоны [22]. Однако данные электроды имеют недостаток, такой как: большая литейная усадка, которая приводит к появлению горячих трещин в металле, вследствие чего снижается прочность сварных соединений. Исходя из этого данные электроды не используют для ремонта трещин в деталях, которые несут силовую нагрузку. Для минимизирования отбела в околошовной зоне облицовочно-промежуточный слой выполняют электродами из монель-металла, после чего ремонтная сварка ведётся электродами другого состава.

Пайка-сварка чугуна выполняется с применением чугунных присадочных материалов, латунных припоев и газопорошковой наплавкой.

Низкотемпературная пайка-сварка чугуна латунными припоями также нашла широкое применение при исправлении дефектов чугунных деталей. Процесс протекает при температуре в пределах 700...750 °С. Такой интервал температуры не вызывает структурных изменений в чугуне, вследствие чего не наблюдается отбел чугуна и уменьшается склонность к образованию трещин. Пайку-сварку используют при условии сохранения изначальной формы детали и при недопустимости использования предварительного подогрева. Применение данного вида ремонта эффективно в тонких сечениях,

когда важно минимизировать возникновения деформации. Пайка-сварка позволяет получать соединения чугуна с чугуном и другими металлами, вследствие чего что упрощается конструкция отливок. В качестве присадочного материала применяется припой ЛОК-59-1-0,3, содержащий до 0,4 % кремния, также может применяться припой ЛОМНА-54-1-10-4-02, в содержание которой входят медь, олово, марганец, никель и до 0,6 % алюминия. При проведении пайка-сварки используется поверхностно-активный флюс марки ФПСН-2. Плавление флюса происходит при температуре 650 °С. Пайка-сварка производится сварочной горелкой, в качестве горючего газа используется ацетилен или газы-заменители [9].

Газопорошковую наплавку применяют для исправления дефектов чугунных отливок, которые были обнаружены после механической обработки. Перед наплавкой изделие подогревают в месте наплавки до температуры 300...400°С. При проведении наплавки на поверхность напыляется слой порошка, который в последствии опылается. Напыляется новый слой, который также оплавляется в последствии. Восстановление деталей газопорошковой наплавкой позволяет получать наплавочный металл толщиной до 3 мм. Преимущества способа в том, что в процессе ремонта структура основного металла не изменяется, основной металл не перегревается, процесс можно вести в любом пространственном положении. Недостатки:

- низкая производительность, вследствие чего данный способ в основном применяется для устранения незначительных дефектов;
- трудности ремонта крупных деталей.

Конкретно пайка тоже используется в качестве метода по исправлению дефектов чугунных изделий.

При выполнении пайки возможны трудности со смачиванием поверхности основного металла расплавленным припоем [13]. Причина возможных затруднений – наличие графита в структуре чугуна. Для удаления

графита используют пескоструйную обработку с последующим выжиганием графита окислительным пламенем газовой горелки, электрохимическую обработку в соляной ванне при температуре 450...510°C, также используют активные флюсы.

Пайка делится на низкотемпературную и высокотемпературную. По ГОСТ 17325-79 низкотемпературная пайка – пайка при температуре, не превышающей 450°C, высокотемпературная – при температуре, превышающей 450°C [7].

2.2 Материалы, применяемые для восстановления чугунных деталей

При выполнении ремонтной сварки чугуна важно минимизировать количество углерода в наплавленном металле и вследствие этого уменьшить возможность закалки сварного соединения [21]. Поскольку в основном ремонт производится с расплавлением основного металла, то, как правило, в качестве электродного металла чаще всего используют металлы и сплавы, не растворяющие углерод (медь), растворяющие его без образования карбидов (электроды на основе никеля) или связывающие углерод в труднорастворимые в твёрдом металле карбиды (электроды с сильными карбидообразующими элементами).

Электроды, в состав которых входит значительное содержание меди, используют для ремонтной сварки деталей, область применения которых происходит при незначительных статических нагрузках [20]. Широкого распространения получили медно-стальные электроды. Такими электродами являются стержень из меди с толстым покрытием, содержащий железный порошок (ОЗЧ-1), стальной стержень с медной оболочкой, пучок из медных и стальных электродов.

Электроды на основе никеля применяют при необходимости механической обработки сварного шва при неравнопрочности его металла с основным металлом. Широко распространены электроды из монель-металла (сплав 65-70% никеля с 25-30% меди). На проволоку из монель-металла диаметром 2-4 мм наносят покрытие специального состава (например, 40% графита и 60% мела или мрамора). Также электроды могут быть изготовлены из проволоки Св-08Н50, на которую нанесено покрытие основного типа. Недостаток электродов на основе никеля заключается в их высокой стоимости.

К стальным электродам с карбидообразующими элементами в покрытии относятся электроды ЦЧ-4 и СЧС-ТЗ, содержащие в покрытии титан и ванадий.

Также применяются электроды марок ОМЧ-1, ВЧ-3, СТЧ-4, ЭПЧ с чугунным стержнем. Электроды изготавливают из чугунных прутков марки А и Б.

Параметры холодной сварки для некоторых вышеперечисленных электродов представлены в таблице 5. Параметры указаны для сварки в нижнем положении. Применение электродов ЦЧ-4 ограничивается сваркой нижним положением, электроды ОЗЧ-1, ОЗЖН-1 и МНЧ-2 используют и для сварки в вертикальном положении, уменьшив перед этим силу тока на 10-20 А.

Таблица 5 – Параметры холодной сварки чугунной детали

Марка электрода	Рекомендуемые значения тока, А, для диаметров электрода, мм				Коэффициент наплавки, г/(А/ч)	Расход электродов на 1кг наплавленного металла
	3,0	4,0	5,0	6,0		
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
ЦЧ-4	65-80	90-120	130-150	220-250	09-11	1,8
ОЗЧ-2	90-110	120-140	160-190	-	13-14	1,7
ОЗЖН-1	100-120	130-150	160-180	210-230	10-12	1,4
МНЧ-2	90-110	120-140	160-190	-	11-12	1,5

При осуществлении ремонта чугунных деталей газовой сваркой в качестве горючего газа применяют ацетилен, пропан-бутан и городской газ, присадочный материал – чугунные прутки марок А и Б, специальные малолегированные чугунные присадочные прутки. В качестве флюса применяется бура (плавленная, прокаленная, техническая), углекислый натрий и двууглекислый натрий.

При газопорошковой сварке используют порошки НПЧ-1 и НПЧ-2. НПЧ-1 используют при последующей обработке сварного шва режущим инструментом, НПЧ-2 на поверхностях, подвергающихся поверхностной закалке. В таблице 6 указан состав порошкообразных сплавов для газопорошковой наплавки.

Таблица 6 – Состав порошкообразных сплавов для газопорошковой наплавки

Марка сплава	Массовая доля, %		
	меди	бора	кремния
НПЧ-1	5,0...7,0	1,0...1,8	0,7...0,95
НПЧ-2		1,7...2,3	1,0...2,5

2.3 Выводы

Анализ известных способов восстановления чугунных деталей показал широкий выбор методов ремонта.

Самыми надёжными способами оказались способы горячей сварки. Посредством предварительного нагрева происходит уменьшение скорости охлаждения наплавленного металла, ослабление общего напряжения и предотвращение трещинообразования. Однако технологический процесс делает способы горячей сварки неуниверсальными и трудоёмкими. Ко всему прочему предварительный нагрев изделия происходит в интервале температур 400-600 °С, что положительно влияет на чугун, но негативно сказывается на условиях труда самих сварщиков. Помимо этого, предварительный подогрев подразумевает наличие необходимого оборудования для этого процесса, которым по финансовым или иным возможностям организация не может располагать.

Холодная сварка является универсальным способом восстановления детали, поскольку отсутствие предварительного подогрева уменьшает трудоёмкость выполнения ремонта [19]. Кроме этого, данный способ ремонта представлен широкой номенклатурой присадочного материала, в которую входят стальные электроды и электроды из цветных металлов. Несмотря на преимущества данного способа, есть ряд недостатков: большая вероятность появления трещин, отбеливания чугуна, затруднённая механическая

обработки. Учитывая данные недостатки, существуют технологические приёмы, способные улучшить качество сварного соединения:

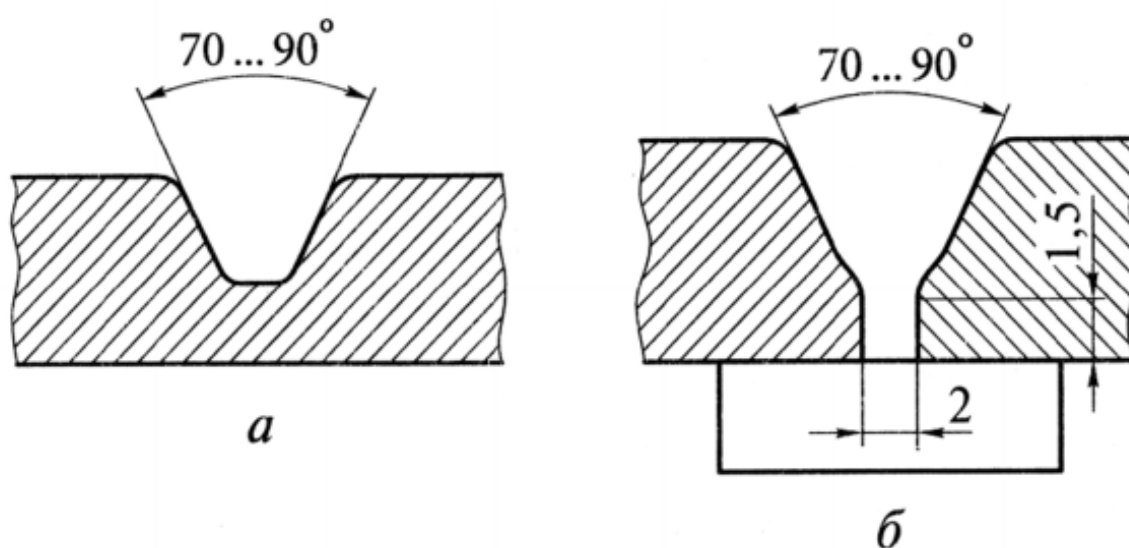
- применение электродов малого диаметра;
- уменьшение силы тока при сварке;
- проковка.

Достаточно результативным способом ремонта является пайка. Преимущества способа в том, что структура чугуна не изменяется. Однако главным недостатком является наличие графита в структуре чугуна, вследствие чего затрудняется смачивание поверхности основного металла расплавленным припоем. Для устранения этой проблемы существуют разные способы, такие как пескоструйная обработка, электрохимическая обработка, а также применение активных флюсов.

3 Описание ремонтной дуговой сварки без подогрева изделия

На предприятии ПАО «КуйбышевАзот», Тольятти, уже был опыт ремонта корпуса шестерённого маслососа, где в качестве базового варианта была выбрана электродуговая сварка электродами на основе никеля.

Первой операцией базовой технологии ремонтной сварки является разделка трещины. Все имеющие трещины необходимо разделить на всю длину и засверлить по краям. Угол разделки зависит от вида трещины: сквозная или не сквозная (рисунок 4).



а – несквозной дефект; б – сквозной дефект

Рисунок 4 – Разделка кромок

В данном случае, поскольку трещина несквозная, требуется засверлить кромки под углом 70...90°. Выполняется зубилом, дрелью со сверлом из победита с углом заточки 116...118° [14], сверлить следует на оборотах не более 400 об/мин [16]. Марка дрели DORKEL DRD-500-2 DR-3105. Диаметр сверла не более 10 мм.

Следующей операцией является очистка поверхности. Тщательная очистка свариваемой зоны способствует уменьшению появлению пористости шва. Очистка выполняется до металлического блеска (рисунок 5).

Выполняется с применением наждачной бумаги, УШМ (угловая шлифовальная машина) Калибр МШУ 115/755 с зачистным диском диаметром 115 мм, металлической щётки. Для удаления масел и жиров используется ветошь, керосин и прочие растворители.



Рисунок 5 – Разделка трещины

После выполнения предыдущих операций следует сварка. Сварка выполняется электродами на основе никеля с значительным содержанием графита в обмазке. Марка покрытых электродов Castolin EutecTrode 244. Диаметр электродов 2,5 мм. Сварку производить на малых токах (100...120 А) прямой или обратной полярности. В качестве источника питания сварочный инвертор марки «Форсаж-161».

Сварку производить узкими валиками длиной 1...3 см с последующей проковкой. Проковку производить слесарным молотком.

После окончания сварки изделия оставить для естественного охлаждения.

Контроль качества производить капиллярным методом контроля.

Данная технология является универсальной и менее трудоёмкой, по сравнению с некоторыми способами сварки, такими как горячая сварка или

холодная сварка стальными электродами с применением шпилек. Базовая технология применялась при ремонте трещин корпуса масляного насоса на предприятии ПАО «КуйбышевАзот». Капиллярный метод контроля после сварки показал неудовлетворительное качество полученных сварных швов (рисунок 6). На отрицательный результат работы повлияли отклонения от технологии сварки и непрофессионализм сварщиков, производивших ремонт.



Рисунок 6 – Результат капиллярного метода контроля сварных швов

3.1 Выводы по разделу

Как показал анализ известных способов восстановления чугунных деталей, методы холодной сварки являются универсальными и менее трудоёмкими. Если бы при выполнении данного ремонта соблюдалась технология сварки, трещины после ремонта не появились.

Благодаря неудачному опыту ремонта, при выполнении следующих работ данным способом ошибки будут учтены. Вследствие чего все операции будут выполняться строго по технологическому процессу, в частности, будут выполняться меры, снижающие появление трещин, такие как: малые диаметры электродов, незначительные значения силы тока и проковка наплавленного металла.

4 Разработка технологического процесса альтернативной технологии ремонтной сварки корпуса масляного насоса

4.1 Выбор альтернативной технологии ремонта корпуса маслонасоса

При отсутствии оборудования для предварительного подогрева способы холодной сварки при достаточно большом выборе присадочных материалов являются универсальными и, при соблюдении технологии сварки, качественными методами восстановления изношенных деталей. Такими же преимуществами обладают способы пайки чугуна.

Опыт неудачного ремонта корпуса маслонасоса на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» создал предпосылки для поиска альтернативной технологии. Хотя отклонения от сварки являются больше человеческим фактором, так или иначе, наплавочный металл лопнул. Помимо других методов холодной сварки, наличие газовой горелки подразумевало возможность выбора между газовой сваркой, низкотемпературной пайкой-сваркой и собственно пайкой. В качестве альтернативной технологии была рассмотрена высокотемпературная пайка.

Относительно ремонта чугунных изделий пайка, по сравнению со сваркой, обладает тем преимуществом, что чугун при пайке не расплавляется и не претерпевает значительных структурных изменений, вследствие чего не происходит отбеливания в околошовной зоне, швы легко поддаются обработке абразивным инструментом и имеют высокую плотность. Помимо этого, отсутствуют значительные остаточные сварочные напряжения и трещины.

Высокотемпературная пайка отличается своей прочностью и термоустойчивостью, выполняется с помощью припоев, имеющих

значительное содержание меди или серебра. При выполнении высокотемпературной пайки деталей из чугуна необходимо использовать активные флюсы, которые растворяют графит.

Основное достоинство пайки чугуна серебряным припоем с активным флюсом состоит в том, что нет необходимости удалять графит. При температурах пайки до 900 °С чугунные детали не будут перегреваться.

4.2 Технологический процесс альтернативного способа ремонтной сварки чугунной детали

Технологический процесс начинается с подготовки поверхности под пайку. Поскольку при выполнении ремонта холодной сваркой были допущены отклонения от технологии, сварной шов получился некачественным, поэтому перед подготовкой необходимо убрать наплавленный металл.

Наплавленный металл убирается посредством зубила, УШМ «Калибр МШУ 115/755» с зачистным диском диаметром 115 мм.

После удаления неудачно наплавленного металла необходимо выполнить разделку трещины, которую заваривали ранее. Процесс заключается в разделке трещины вплоть до её основания, концы засверлить. Операция выполняется с помощью дрели марки «DORKEL DRD-500-2 DR-3105», диаметр сверла не более 10 мм и УШМ «Калибр МШУ 115/755». Далее следует подготовка изделия к пайке, заключающаяся в механической зачистке паяемой поверхности. Ручная очистка производится напильником, металлической щёткой, УШМ до металлического блеска.

После ручной механической очистки обработанные поверхности обезжиривают путем протирки бязевыми салфетками, смоченными в бензине, ацетоне или спирте.

Применение активных флюсов ПВ209 и ПВ284Х позволит удалить окисную пленку и защитить чугун от окисления. В таблице 6 указан химический состав данных флюсов. В обозначении марок буквы означают П-паяльный, В-высокотемпературный, далее цифровое обозначение марки флюса, Х- получен химическим взаимодействием [8]. Применяемые активные флюсы растворяют графит на поверхности чугуна в процессе пайки, вследствие чего обеспечивается надежное смачивание припоем соединяемых поверхностей [7]. Перед проведением пайки нанести флюс на паяемую поверхность.

Таблица 7 - Химический состав флюсов ПВ209 (ПВ209Х) и ПВ284Х

Марка флюса	Массовая доля элемента, %			
	Бор	Фтор	Калий	Кислород
ПВ209	12,3-13,3	26,7-28,5	33,5-36,4	21,8-27,5
ПВ209Х	12,3-13,3	26,7-28,5	33,5-36,4	21,8-27,5
ПВ284Х	10,7-11,7	34,6-36,6	34,0-37,0	14,7-20,7

После нанесения флюса паяемая поверхность подогревается сварочной газовой горелкой до температуры плавления припоя (не выше 800°С). Пламя нейтральное. В оборудование для пайки газовыми горелками входит набор горелок, соединительные трубопроводы, редукторы и источники горючих газов, кислорода или воздуха. В качестве газа используется ацетилено-кислородная смесь.

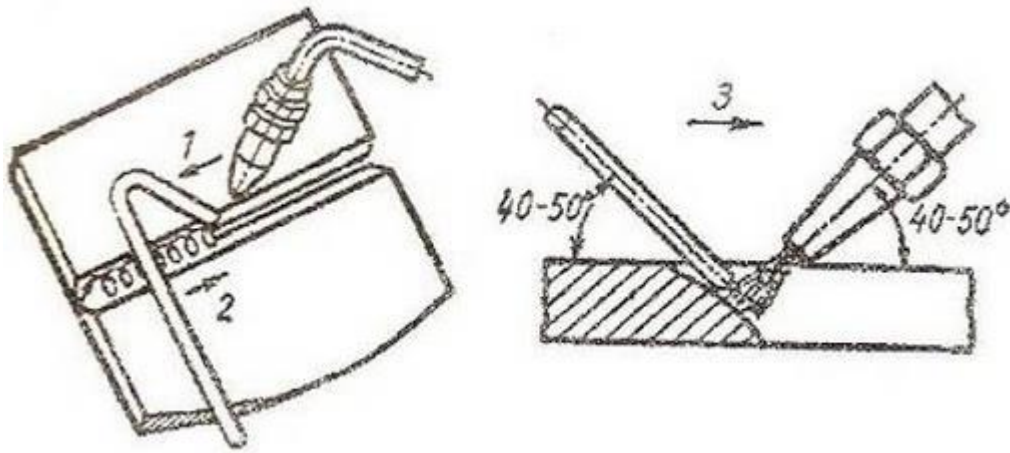
Мощность пламени горелки определяется по формуле (1), исходя из расхода ацетилена в л/ч:

$$Q=KxS, \quad (1)$$

где Q - расхода ацетилена в л/ч, K - коэффициент пропорциональности (для чугуна 100...130), S – толщина стенки изделия в мм.

$$Q= 110 \times 5= 550 \text{ л/ч}$$

Горелку держать под углом 40-50°, наплавку выполнять правым способом непрерывными или обратноступенчатыми валиками (рисунок 7).



1-движение горелки; 2-движение припоя; 3-движение горелки и припоя

Рисунок 7 – Схема выполнения высокотемпературной пайки

Поскольку при высокотемпературной пайке используют припои на основе меди или серебряные припои, выбор наплавочного материала выпал на пруток марки Castolin 5283 с диаметром 2,0 мм. По составу данный припой на основе меди с 15-% содержанием серебра. Температура плавления 650...800°С.

Далее выполняется запаивание трещины.

По завершению пайки необходимо убрать пламя горелки в сторону, оставив чугунное изделие остывать. Недопустимо ускорять процесс

охлаждения. После охлаждения следует очистить шов от флюса смоченной в тёплой воде ветошью.

Последней операцией технологического процесса является контроль качества.

4.3 Результаты контроля качества

Контроль качества производился изначально визуальным контролем изделия на предмет наличия дефектов. Визуальный контроль показал отсутствие видимый дефектов.

Помимо визуального контроля, производились гидравлические испытания. Гидравлические испытания позволяют проверить плотность шва и прочность корпуса маслонасоса при наибольших нагрузках (рисунок 8).



Рисунок 8 – Насос для гидравлических испытаний

Гидравлическое испытание заключается в наполнении отремонтированного изделия водой и посредством гидравлического насоса создании давления, максимально превышающее рабочее (не более 280 бар).

При давлении, превышающим рабочее, выдерживают 5 минут. После давление снижают до рабочего и сварные швы слегка обстукивают закруглённым молотком весом 1 кг на расстоянии 15...20 мм от кромок, после чего тщательно осматривают швы.

Проделав все описанные выше действия, течи замечено не было.

4.4 Выводы по разделу

Неудачный опыт ремонта корпуса масляного насоса, описанный в разделе 3, побудил на рассмотрение альтернативной технологии. Высокотемпературная пайка, выбранная в качестве альтернативной технологии, показала высокую эффективность применения. Преимущества данной технологии заключаются в образовании прочного паянного соединения, малой вероятностью появления трещин, а также отсутствии структурных изменений в металле ввиду того, что процесс происходит при температуре ниже плавления чугуна. Помимо этого, данный технологический процесс не зависит от квалификации паяльщика.

Данная альтернативная технология обеспечивает качественное и оперативное восстановление изношенной чугунной детали.

5 Проектирование сварочных цехов и участков

В данном разделе будет производиться проектирование сварочного цеха (участка), предназначенного для ремонтной сварки чугунных деталей. За деталь, на основе которой будет подбираться оборудование, будет принят корпус масляного насоса. При проектировании будут учтены возможности ремонтной сварки не только способом альтернативной технологии-пайки, предлагаемой в работе, но и способами холодной сварки. Поскольку номенклатура деталей предприятия не ограничивается чугунными изделиями, а оперативный и качественный ремонт любого агрегата является важной составляющей бесперебойного производства, то сварочный цех будет предназначен и для ремонтной сварки деталей, выполненных из других металлов.

5.1 Определение типа производства и разработка плана мероприятий для ремонта изделия

Ремонтная горячая сварка чугунного корпуса маслонасоса. Тип производства – серийный. Предположим, что общее число ремонтируемых изделий в год около 10 тыс. Таким образом, годовая программа выпуска 10 тыс. шт.

Общая масса корпуса маслонасоса= 18 кг=0,018 т

На данном этапе выполнения работы требуется определить основные операции изготовления изделия, а также время, затраченное на эти операции. Исходя из типовых технологических операций получился следующий список:

- 1). Входной контроль-20 мин;
- 2). Подготовка к пайке/сварке – 20 мин;
- 3). Выполнение пайки/сварки- 60 мин;
- 4). Охлаждение изделия-12ч=720 мин;

5). Контроль качества-30 мин.

Рассчитаем время ремонта одной детали:

$$T=20+20+60+720+30=850 \text{ мин.}=14,2 \text{ ч}$$

Рассчитаем общее время, затрачиваемое на каждую операцию:

$$1)20 \cdot 10000=200000 \text{ мин.}=3333 \text{ ч;}$$

$$2)20 \cdot 10000=200000 \text{ мин.}=3333 \text{ ч;}$$

$$3)60 \cdot 10000=600000 \text{ мин.}=10000 \text{ ч;}$$

$$4)720 \cdot 10000=120000 \text{ ч;}$$

$$5)30 \cdot 10000=300000 \text{ мин.}=5000 \text{ ч.}$$

5.2 Расчёт количества оборудования и производственных рабочих

5.2.1 Расчёт количества производственных рабочих

Данный расчёт производится для каждой операции с учётом времени фонда рабочих. Стоит отметить, что фонд времени может отличаться в зависимости от профессии. Для того, чтобы определить количество рабочих, требуется полученный объём часов для каждой операции разделить на отдельно взятый фонд времени рабочего.

$$1)3333/1860=1,79, \text{ принимаем } 2;$$

$$2)3333/1860=1,79, \text{ принимаем } 2;$$

$$3)10000/1860=5,3, \text{ принимаем } 4;$$

Поскольку предполагается работа в 2 смены, будет принято 4 рабочего на процесс пайки/сварки, то есть по 2 человека на каждую смену.

$$4)120000/1860=64,5, \text{ принимаем } 2;$$

Медленное охлаждение детали после сварки/пайки происходит на протяжении 12 часов без внешнего вмешательства рабочих, поэтому при рассмотрении работы в 1 смену достаточно будет и 2-х рабочих, обеспечивающих подготовку охлаждения изделия после сварки.

5) $5000/1860=2,69$, принимаем 2.

5.2.2 Расчёт количества единиц оборудования

Данный расчёт производится с учётом количества рабочих смен. Принимаем 2 рабочие смены, учитывая полученное количество рабочих в пункте 5.2.1.

- 1) 2 смены, 1 единиц оборудования;
- 2) 2 смены, 1 единиц оборудования;
- 3) 2 смены, 2 единицы оборудования;
- 4) 2 смены, 2 единицы оборудования;
- 5) 2 смены, 1 единиц оборудования.

5.2.3 Определение наименований и габаритов оборудования

В данном пункте выбирается оборудование, которое будет использоваться в работе. Также важно указать габариты выбранного оборудования, так как это важно для компоновки сварочного цеха.

- 1). Металлическая щётка 150x40 мм (0,006 м²)
- 2). Зубило 16x170 мм (0,003 м²);
- 3). Дрель DORKEL DRD-500-2 DR-3105 252x216 (0,054м²);
- 4). УШМ Калибр МШУ 115/755 302x102 мм (0,03 м²);
- 5). 5 стола для выполнения входного контроля, подготовки к сварке/пайки, сварки/пайки, подготовки охлаждения изделия после сварки и для контроля качества 1000x1000 (1 м²), общ = 5 м²;
- 6). Источник питания для сварки 500x450 мм (0,225 м²);
- 7). Баллон ацетилен газообразный 110 мм (0,038 м²);
- 8). Баллон кислород газообразный 110 мм (0,038м²);
- 9). Листы асбеста 400x500 мм (0,2 м²);

10). Твердомер 135x65 мм (0,00878 м²);

11). Насос для гидравлических испытаний 330x250 (0,0825 м²).

5.2.4 Расчёт общей площади с учётом количества оборудования

$0,006+0,003+0,054+0,03+5+0,225+0,038+0,038+0,2+0,00878+0,0825=5,7 \text{ м}^2$

Итого: 5,7 м²

Требуется произвести пересчет площади с учетом проходов и требуемых расстояний между оборудованием и стенами/колоннами цеха [11]. Для этого полученное значение общей площади оборудования нужно соотнести с таблицей 8, таблицей укрупнённых норм площадей сборочно-сварочного цеха, приходящихся на единицу оборудования.

Таблица 8 – Укрупнённые нормы площадей сборочно-сварочного цеха, приходящихся на единицу оборудования

Площадь проекции сборочной единицы на горизонтальную плоскость (сборочно-сварочного приспособления) м ²	Производственная площадь, м ²
1	2
До 1,5	До 20
1,5-3,0	20-30
3,0-7,0	30-50
7,0-10,0	50-65
10,0-20,0	65-90
20,0-30,0	90-120
30,0-40,0	120-140
40,0-60,0	140-180
60,0-100,0	180-300
100,0-150,0	300-400
Свыше 150	Более 400

Для площади 5,7 м², согласно таблице, соответствует площадь ≈ 40 м².

5.2.5 Расчёт склада металла

Величина запаса хранения металла Q определяется нормой запаса хранения и темпом производства по формуле (2):

$$Q = H_x \cdot q \quad (2)$$

где H - норма запаса хранения металла, ч;

q - темп производства, т / ч.

$$H=247 \cdot 6=1482 \text{ ч};$$

q=0,018/13,4=0,001 т/ч (где 0,018 масса корпуса маслонасоса в т; а 13,4 время ремонта изделия в ч);

$$Q = H_x \cdot q = 1482 \cdot 0,001 = 1,482$$

Общая площадь цехового склада металла:

$$F_c = F_n + F_b + F_{пр}$$

$$F_n = Q/\sigma_0 = 1,482/0,4 = 3,705 \approx 4 \text{ м}^2$$

σ_0 – норма грузонапряженности полезной площади, т/м² ($\sigma_0=0,4 \text{ т/м}^2$)

$$F_b = 0,5 \cdot F_n = 2 \text{ м}^2$$

$$F_{пр} = \sum f_{пн} = 0,006 + 0,003 + 0,054 + 0,03 + 5 + 0,225 + 0,038 + 0,038 + 0,2 + 0,00878 + 0,0825 = 5,7 \text{ м}^2$$

$$F_c = 4 + 2 + 5,7 = 11,7 \text{ м}^2$$

Общая площадь сборочно-сварочного участка вместе со складом металла:

$$F = 40 + 11,7 = 51,7 \text{ м}^2$$

Для полученной площади подойдёт секта колонн 6x12 м.

5.3 Технологический процесс альтернативной технологии восстановления корпуса маслонасоса

Таблица 9 –Технологический процесс альтернативной технологии восстановления корпуса маслонасоса

Наименование операции	Содержание перехода и режим обработки	Оборудование, приспособление, инструмент	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
1.Цветная дефектоскопия	Проверка всей детали	Индикаторный пенетрат, очиститель, проявитель	Кисть, валик, краскораспылитель
2. Разделка трещины	Вырубка трещины до её основания, скос кромок 70-90°	Дрель, УШМ, зубило	Сверло, борфреза, абразивный круг
3. Очистка	До металлического блеска	Наждачная бумага, металлическая щётка, УШМ	Зачистный круг
4. Обезжиривание	Отсутствие масел, жиров	Бензин, спирт, ацетон и др. обезжиривающие вещества	Бязевые салфетки, ветошь
5. Нанесение флюса		Флюс ПВ 209 или ПВ 284Х	-
6. Выполнение пайки	Непрерывными и обратноступенчатыми валиками	Газовая горелка, кислород газообразный, ацетилен газообразный	Припой
7. Охлаждение изделия	Естественное охлаждение, после охлаждения удаление остатков флюса	Ветошь, смоченная в тёплой воде	-

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4
8. Гидравлические испытания	Обстукивание молотком производить при рабочем давлении	Опрессовочный насос, молоток	Рукава, манометр

5.4 Выводы по разделу

Выполненная в разделе работа позволила спроектировать сварочный цех, в котором будет производиться ремонт не только чугунных деталей, в частности рассматриваемого в работе корпуса маслососа, но и изделий из других металлов. Помимо этого, было рассчитано необходимое оборудование для ремонтных работ, вследствие чего высчитана необходимая площадь. Площадь была рассчитана с учётом проведения не только пайки с применением газовой горелки, но и обычной холодной сварки. Высчитанные данные позволяют не только спроектировать, но и предъявлять требования для переоборудования помещений под ремонтный цех.

Данное проектирование позволит создать специализированное помещение для оперативного и качественного ремонта изношенных деталей с применением различных технологий сварки или пайки.

6 Безопасность и экологичность проекта

6.1 Технологическая характеристика объекта

Тема выпускной квалификационной работы: «Ремонтная сварка чугунной детали». Целью работы является повышение ресурса чугунных деталей путем разработки эффективного способа ремонта повреждений, полученных в процессе эксплуатации.

Ремонтная сварка рассматривается на примере заварки трещины в корпусе маслонасоса, выполненного из серого чугуна. В работе была описана технология ремонта методом холодной сварки, однако после ремонта на наплавочном металле появились трещины, что говорит о возможных отклонениях от технологии. Данные факторы побудили рассмотреть другие способы ремонта и в качестве альтернативной была выбрана высокотемпературная пайка с применением припоя, в состав которого входят медь и серебро.

Была разработана технология пайки, в связи с этим необходимо выявить опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность альтернативной технологии ремонта и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 10 – Технологический паспорт объекта

Наименование операции	Должность производственног о персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
1. Цветная дефектоскопия	Дефектоскопист	Индикаторный пенетрат, очиститель, проявитель	Кисть, валик, краскораспылитель
2.Разделка трещины	Слесарь	Дрель DORKEL DRD-500-2 DR-3105, УШМ Калибр МШУ 115/755	Сверло, борфреза, круг абразивный
3.Очистка	Слесарь	УШМ Калибр МШУ 115/755	Зачистной круг, металлическая щётка, напильник
4.Обезжиривание	Сварщик (паяльщик)	Бензин, спирт, ацетон	Бязевые салфетки, ветошь
5.Нанесение флюса	Сварщик (паяльщик)	Флюс ПВ 209 или ПВ 284Х	
6.Пайка	Сварщик (паяльщик)	Газовая горелка	Пруток марки Castolin 5283, кислород газообразный, ацетилен газообразный
7.Охлаждение изделия	Сварщик (паяльщик)		Смоченная в тёплой воде ветошь
8.Гидравлические испытания	Дефектоскопист	Опрессовочный насос	Манометр, рукава, молоток весом 1 кг

6.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 11 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые работы	Вредные и опасные факторы, представляющий угрозу, здоровью и жизни	Источник возникновения рисков
1	2	3
1.Цветная дефектоскопия	Пары легколетучих составляющих дефектоскопических материалов	Индикаторный пенетрат, очиститель, проявитель
2.Разделка трещины	Острые кромки, заусенцы, движущиеся детали оборудования, повышенная запыленность воздуха	Дрель, УШМ
3.Очистка	Острые кромки, заусенцы, движущиеся детали оборудования, повышенная запыленность воздуха	Дрель, УШМ, металлическая щётка, напильник
4.Обезжиривание	Пары обезжиривающих материалов	Бензин, спирт, ацетон и иные обезжиривающие материалы
5.Нанесение флюса	Пары флюса	Флюс ПВ 209 или ПВ 284Х
6.Пайка	Повышенная температура оборудования и воздуха, повышенная загазованность и запыленность воздуха, пары флюса, пары припоя, взрывоопасность применяемых газов	Газовая горелка, припой, ацетилен газообразный, кислород газообразный, флюс
7.Охлаждение изделия	Повышенная температура оборудования и воздуха, пары флюса	Флюс ПВ 209 или ПВ 284Х
8.Гидравлические испытания	Хрупкость разрушения, отрыв, отсоединение герметизирующих крышек	Опрессовочный насос

6.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 12 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Фактор, порождающий риски для жизни	Коллективные средства защиты от действия риска	Индивидуальные средства защиты от действия риска
1. Пары легколетучих составляющих дефектоскопических материалов, пары припоя, пары флюса, пары обезжиривающих материалов, повышенная загазованность и запыленность воздуха	Визуализация факторов риска, инструктаж производственного персонала. Наличие вытяжной вентиляции.	Средства защиты органов дыхания, спецодежда, защитные очки
2. Острые кромки, заусенцы	Визуализация факторов риска, инструктаж производственного персонала	Средства защиты органов дыхания, спецодежда, защитные очки
3. Движущиеся детали оборудования	Ограждения от проникновения в опасную зону работников. Информирование об опасности плакаты и надписи.	Спецодежда, защитные перчатки, защитные очки
4. Повышенная температура оборудования и воздуха	Наличие вытяжной вентиляции.	Спецодежда, защитные очки, средства защиты органов дыхания.
5. Хрупкость разрушения, отрыв, отсоединение герметизирующих крышек	Инструктаж производственного персонала. Визуализация факторов риска.	Дистанцирование. Спецодежда.

6.4 Обеспечение пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности ремонтного участка направлены на обеспечение защиты от пожара производственного персонала и имущества организации. По виду горючего материала следует классифицировать возможный пожар, как пожар класса С: пожары, связанные с воспламенением и горением газов. В таблице 13 представлен анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Таблица 13 – Анализ опасных факторов возможного пожара

Участок, подразделения	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5
Участок ремонта	Газовая горелка, ацетилен газообразный, кислород газообразный	Пожары, связанные с воспламенением и горением газов(С)	Тепловой поток, повышенная температура окружающей среду, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода,	Образующиеся радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных пожаром технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5
			снижение видимости, дымообразование	и иного имущества горящего технического объект, опасные факторы взрыва, возникающие вследствие происшедшего пожара

Таблица 14 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
1	2	3	4	5	6	7	8
Ящики с песком, переносные огнетушители	Специализированные расчёты (вызываются)	Нет необходимости	Нет необходимости	-	План эвакуации	Ведро, лопата, лом, топор	Тревожная кнопка

Таблица 15 – Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта	Наименование видов реализуемых организационно-технических мероприятий	Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
1	2	3
Ремонт изношенной детали методом пайки. Дрель, УШМ, газовая горелка, ацетилен газобразный, кислород газобразный, флюс, припой, опрессовочный насос.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами, назначение ответственного за пожарную безопасность	Обязательное наличие средств первичного пожаротушения.

6.5 Обеспечение экологической безопасности

Таблица 16 – Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта, производственного-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса и т.п.	Негативное экологическое воздействие технологического объекта на атмосферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5
Пайка корпуса маслонасоса	Цветная дефектоскопия, разделка трещины, очистка, обезжиривание, нанесению флюса, пайка, охлаждение, гидравлические испытания	Выделяемые в процессе ремонта газовой горелкой аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы.	Убираемые смоченной водой ветошью остатки флюса. Разлив жидкости при обрыве рукава во время гидравлических испытаний	Упаковочный материал от вспомогательных материалов.

Таблица 17 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Пайка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при деструкции полимера.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Контроль утечек и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке пайки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

6.6 Выводы по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» были представлены технологический процесс, необходимое оборудование, материалы и производственный персонал, выполняющий операции технологического процесса. На основании данной информации были выявлены вредные и опасные производственные факторы и разработаны меры для уменьшения их воздействия.

Анализ профессиональных рисков при выполнении ремонта изношенной чугунной детали позволил сформулировать методы и средства снижения данных рисков для производственного персонала. Для безопасности здоровья рабочего персонала были предложены широко используемые средства защиты, такие как спецодежда, средства защиты органов дыхания, перчатки, защитные очки.

Так как в качестве горючего газа для пайки применяется ацетилено-кислородная смесь, были выявлены риски возникновения пожара. Исходя из данных рисков, разработаны мероприятия по предотвращению пожара и в случае его возникновения оперативной ликвидации.

Анализ негативных факторов на окружающую среду показал, что операции технологического процесса могут нести ущерб водной, воздушной средам и литосфере. Данный ущерб возможен при несоблюдении производственной санитарии.

Соблюдение разработанных мер по пожарной безопасности, по защите здоровья производственного персонала и экологической безопасности позволит выполнить проектный технологический процесс без ощутимого вреда всем выше перечисленным.

7 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению качества ремонтной сварки чугунных изделий. Ремонтная сварка рассматривается на примере заварки трещины корпуса масляного насоса. Основываясь на неудачном опыте ремонта методом холодной сварки, описанном в главе 3, в качестве альтернативной технологии была выбрана высокотемпературная пайка.

Расчёт экономической эффективности должен выявить целесообразность использования альтернативной технологии. При проведении расчётов в качестве базовой технологии будет рассматриваться холодная сварка, описанная в главе 3, проектной технологии – высокотемпературная пайка.

7.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Таблица 18 – Исходные данные для проведения экономического расчёта

Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
			Базовый	Проект.
1	2	3	4	5
Финансовые затраты на 1 кг наплаяемого материала	$C_{ЭЛ}$	Руб/кг г	9010	23760
Значение тарифной ставки	$C_{ч}$	Руб/ч ас	95,29	84,87

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5
Коэффициент, учитывающий начисления к основной заработной плате	$K_{ЗПЛ}$	-	1,81	1,81
Отчисления на дополнительную заработную плату	K_D	%	10	10
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$H_{СОЦ}$	%	30	30
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$ktз$	-	1,05	1,05
Финансовые затраты на покупку оборудования	$Ц_{об}$	Руб	40000	50000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	$На$	%	18	18
Коэф. Полезного действия установки	$KПД$	-	0,7	0,78
Стоимость электроэнергии	$Цэ-э$	Руб/кВт	3,02	3,02
Удельный расход горючего газа	$Узг$	М ³ /час	-	50
Стоимость горючего газа	$Цзг$	Руб/м ³	-	50
Стоимость аренды площади	$Сэкспл$	Руб/м ²	1800	1800
Стоимость приобретения производственных площадей	$Цпл$	Руб/м ²	4500	4500
Площадь занимаемая оборудованием	S	М ²	8	11
Норма амортизационных отчислений на площадь	$Напл$	%	2	2

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5
Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования	$k_{\text{МОНТ}}$ $k_{\text{ДЕМ}}$	%	2	3
Коэффициент заводских расходов	$k_{\text{ЗАВ}}$		1,97	1,97
Нормативный коэффициент экономической эффективности дополн. капит. вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$k_{\text{ЦЕХ}}$		1,72	1,72

7.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для определения времени на ремонтную сварку одной трещины корпуса маслонасоса используем формулу (3):

$$t_{\text{шт}} = t_{n-3} + t_0 + t_B + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{н.п.}} \quad (3)$$

где t_{n-3} – время, используемое на подготовительно-заключительные операции, $t_{n-3} = 0,05\%$ от t_0

$t_0 = t_M$ – время, используемое непосредственно на выполнение сварного/паяного шва

t_B – время, используемое на подготовку сварочного оборудования к работе $t_B = 10\%$ от t_0 ;

$t_{\text{отл}}$ – время, используемое рабочими на отдых и личные надобности $t_{\text{отл}} = 5\%$ от t_0 ;

$t_{\text{обсл}}$ – время, используемое рабочими на обслуживание рабочего места $t_{\text{обсл}}$.
 = 8% от t_0 ;

$t_{\text{н.п.}}$ – время неустраняемых перерывов, 1% от t_0 .

Время в минутах приведено в таблице 19.

Таблица 19 – Трудоёмкость технологических операций

Вариант	$t_{\text{шт}}$	$t_{n-з}$	t_0	t_B	$t_{\text{отл}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{н.п.}}$
Базовый	74,43	0,03	60	6	3	4,8	0,6
Проектный	148,86	0,06	120	12	6	9,6	1,2

7.3 Расчёт затрат на новое оборудование

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} \quad (4)$$

где $K_{\text{пр}}$ – затраты на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{\text{соп}}$ – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполняется по формуле (5)

$$K_{\text{пр}} = \sum C_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5)$$

где $\sum C_{\text{об}}$ – сумма финансовых затрат на закупку оборудования, руб.;

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Чтобы определить коэффициент загрузки оборудования, необходимо определить количество оборудования:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (6)$$

где $N_{\text{пр}}$ – годовая программа;

$t_{\text{шт}}$ – время, расходуемое на ремонтную сварку одной трещины корпуса маслососа (штучное), мин.;

$\Phi_{\text{эф}}$ – фонд времени работы оборудования, час.

Количество оборудования, определённое по формуле (7), может быть десятичным, данное значение необходимо округлить до целого числа.

Коэффициент загрузки определяется по формуле:

$$k_z = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (7)$$

Для вычисления фонда времени воспользуемся формулой (8):

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) \cdot T_{\text{см}} \cdot S \cdot (1 - k_{p.n.}) \quad (8)$$

где $D_{\text{к}}$ – всего дней в году;

$D_{\text{вых}}$ – всего выходных в году;

$D_{\text{пр}}$ – всего праздничных дней в году;

$T_{\text{см}}$ – длительность рабочей смены на предприятии, час;

S – количество рабочих смен;

$k_{p.n.}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{\text{эф}} = (365 - 108 - 10) \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,06) = 3715 \text{ час.}$$

Базовая технология:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 74,43}{3715 \cdot 60} = 0,0003$$

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,0003}{1} = 0,0003$$

$$K_{\text{прб}} = 40000 \cdot 0,0003 = 12 \text{ руб}$$

Проектная технология:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 148,86}{3715 \cdot 60} = 0,0006$$

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,0006}{1} = 0,0006$$

$$K_{\text{прб}} = 50000 \cdot 0,0006 = 30 \text{ руб}$$

Сопутствующие финансовые затраты вычисляются по формуле (9) только для предлагаемой технологии ремонта:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (9)$$

$K_{\text{монт}}$ – финансовые расходы на монтаж оборудования;

$K_{\text{дем}}$ – финансовые расходы на демонтаж оборудования базовой технологии;

$K_{\text{площ}}$ – финансовые расходы на дополнительные площади.

$$K_{\text{монт}} = \Sigma \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} \quad (10)$$

где: $k_{\text{монт}}$ – коэффициент финансовых расходов на установку оборудования по предлагаемой технологии и подключения его к необходимым коммуникациям $k_{\text{монт}} = 0,2$.

$$K_{\text{монт}} = 50000 \cdot 0,2 = 10000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (11)$$

где: $k_{\text{дем}}$ – коэффициент финансовых расходов на установку на производственных площадях оборудования по предлагаемой технологии и подключения его к необходимым коммуникациям, $k_{\text{дем}} = 0,2$.

$$K_{\text{дем}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{площ}} = S_{\text{площ}} \cdot C_{\text{площ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (12)$$

где: g – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{площ}} = 3 \cdot 4500 \cdot 3 \cdot 0,4 = 16200 \text{ руб}$$

$$K \frac{\text{пр}}{\text{общ}} = 30 + 10000 + 8000 + 16200 = 34230$$

Удельные капитальные вложения определим по формуле (13):

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ}}}{N_{\text{пр}}} \quad (13)$$

$$K \frac{\text{баз}}{\text{уд}} = \frac{12}{1} = 12 \text{ руб}$$

$$K \frac{\text{пр}}{\text{уд}} = \frac{34230}{1} = 34230 \text{ руб}$$

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}$$

Отличие базового и проектного вариантов заключается в применении разного оборудования, в базовом – это сварочный инвертор и электроды, в проектном – это газовая горелка и припой.

В базовой технологии ремонтной сварки использовались штучные электроды, расходы на закупку которых определим по формуле:

$$ЗМ_{\text{эл.}} = H_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}} \quad (14)$$

где $C_{\text{эл.}}$ – стоимость штучных электродов, руб/кг;

$H_{\text{эл.}}$ – расход штучных электродов согласно нормативам, кг.

$$H_{\text{эл.}} = Y \cdot L_{\text{ш}} \quad (15)$$

где Y - расход штучных электродов на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш}$ – общая для наплавочного слоя, м.

$$Y = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (16)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{напл.мет}$ – общее количество присадочного материала, штучных электродов, необходимых для создания сварного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (17)$$

где ρ – плотность чугуна 7,2 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 20 \text{ мм}^2$.

$$M_{напл.мет} = 7,2 \cdot \frac{20}{1000} = 0,144 \text{ кг};$$

$$Y = 1,7 \cdot 0,144 = 0,245 \text{ кг/м};$$

$$НР_{эл} = 0,245 \cdot 0,687 = 0,168;$$

$$ЗМ_{элб} = 9010 \cdot 0,168 = 1514 \text{ руб.}$$

К данному значению прибавим среднерыночную стоимость применяемого сварочного инвертора = 15000 руб

Таким образом, $ЗМ_6 = 1514 + 15000 = 16514$ руб

В проектной технологии в качестве вспомогательных материалов используют припой и смесь газов ацетилен и кислород, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле:

$$ЗМ_{ПР} = ЗМ_{СВПР} + ЗЗГ \quad (18)$$

Расходы на закупку присадочного материала определим по формуле:

$$ЗМ_{ПР} = Ц_{пр} + Н_{пр} \quad (19)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость применяемой в предлагаемой технологии припоя, руб/кг;

$N_{\text{пр}}$ - норма расхода применяемой в предлагаемой технологии припоя, кг.

Чтобы определить норму расхода присадочного материала в проектной технологии, используем формулу:

$$N_{\text{пр}} = Y \cdot L_{\text{ш}} \quad (20)$$

где Y - расход присадочного материала на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{\text{ш}}$ – длина паяного соединения, м.

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (21)$$

Где k_p – коэффициент расхода, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$ – общее количество присадочного материала, применяемого для ремонта корпуса маслонасоса, кг.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где ρ – плотность чугуна 7,2 г/см³;

$F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва, $F_{\text{ш}} = 20 \text{ мм}^2$.

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,2 \cdot 20 / 1000 = 0,144 \text{ кг};$$

$$Y = 1,05 \cdot 0,144 = 0,1512 \text{ кг/м};$$

$$N_{\text{пр}} = 0,1512 \cdot 0,687 = 0,104 \text{ кг};$$

$$3M_{\text{пр}} = 23760 \cdot 0,104 = 2471,04 \text{ руб.}$$

Расходы на применяемый для газовой горелки смесь газов ацетилен и кислород определим по формуле:

$$Z_{\text{з.г.}} = C_{\text{з.г.}} \cdot H_{\text{з.г.}} \quad (23)$$

где $C_{\text{з.г.}}$ – рыночная стоимость одного литра газа в рублях;

$N_{з.г.}$ – норма расхода используемого в проектной технологии в литрах на 1 погонный метр шва.

Норма расхода вычисляется по зависимости:

$$N_{з.г.} = Y_{з.г.} \cdot L + Y_{доп} \quad (24)$$

Где $Y_{з.г.}$ – расход непосредственно на выполнение паяного шва, л.

$$Y_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_0 \quad (25)$$

где $q_{з.г.} = 9$ л/мин (для ацетилена), 10 л/мин для кислорода;

t_0 – вычисленное по формуле (3) время пайки шва.

$$Y_a = 9 \cdot 120 = 1080 \text{ л};$$

$$Y_k = 10 \cdot 120 = 1200 \text{ л.}$$

$Y_{доп.}$ – учитывает дополнительный расход газа, m^3 .

$$Y_{доп} = t_{всп} \cdot q_{з.г.} \quad (26)$$

где $t_{всп}$ – время расхода газа, мин;

$q_{зг}$ – норма расхода газа в единицу времени, $m^3/\text{мин}$.

$$Y_{допa} = 9 \cdot 0,05 = 0,45 \text{ л};$$

$$Y_{допк} = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ л};$$

$$N_{зга} = 1080 \cdot 0,5 + 0,45 = 540,45 \text{ л};$$

$$З_{з.г.а} = 40 \cdot 540,45 = 21618 \text{ руб};$$

$$N_{згк} = 1200 \cdot 0,5 + 0,5 = 600,5 \text{ л};$$

$$З_{з.г.к} = 10 \cdot 600,5 = 6005 \text{ руб.}$$

Таким образом, общая сумма расходов для проектной технологии составит:

$$ЗМ_{пр} = 21618 + 6005 + 2471,04 = 30094,04 \text{ руб}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{C_{\text{плоч}} \cdot S_{\text{плоч}} \cdot Na_{\text{плоч}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60} \quad (27)$$

где $C_{\text{плоч}}$ – цена 1 м^2 производственной площади, руб.;

$Na_{\text{плоч}}$ – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{плоч}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м^2 ;

$$Z_{\text{плоч}}^{\text{б}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 74,43}{3715 \cdot 100 \cdot 60} = 0,24 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{плоч}}^{\text{пр}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 148,86}{3715 \cdot 100 \cdot 60} = 0,48 \text{ руб}$$

7.4 Расчёты по оплате труда

Фонд заработной платы определим, как сумму:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} \quad (28)$$

где $\text{ЗПЛ}_{\text{осн}}$ – основная зарплата;

$\text{ЗПЛ}_{\text{доп}}$ – дополнительная зарплата.

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot k_{\text{зпл}} \quad (29)$$

где $C_{\text{ч}}$ – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время, час;

$k_{\text{зпл}} = 1,81$ – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$\text{ЗПЛ} \frac{\text{б}}{\text{осн}} = 74,43 \cdot 84,87 \cdot 1,81 = 11434 \text{ руб}$$

$$\text{ЗПЛ} \frac{\text{пр}}{\text{осн}} = 148,86 \cdot 95,29 \cdot 1,81 = 25675 \text{ руб}$$

Дополнительная зарплата вычисляется по следующей формуле:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{доп}} = \frac{k_d}{100} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} \quad (30)$$

где k_d – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$\text{ЗПЛ} \frac{\text{б}}{\text{доп}} = 11434 \text{ руб} \cdot \frac{10}{100} = 1143,4 \text{ руб}$$

Для проектного варианта технологии

$$\text{ЗПЛ} \frac{\text{пр}}{\text{осн}} = 25675 \cdot 10/100 = 2567,5 \text{ руб};$$

$$\Phi\text{ЗПб} = 11434 + 1143,4 = 12577,4 \text{ руб};$$

$$\Phi\text{ЗПпр} = 25675 + 2567,5 = 28242,5 \text{ руб}.$$

Отчисления на социальные нужды:

$$O_{\text{сн}} = \Phi\text{ЗП} \cdot N_{\text{соц}}/100 \quad (31)$$

где $N_{\text{соц}}$ – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O \frac{\text{б}}{\text{сн}} = 12577,4 \cdot \frac{30}{100} = 3773,22 \text{ руб}$$

Для проектного варианта технологии

$$O \frac{\text{пр}}{\text{сн}} = 28242,5 \cdot \frac{30}{100} = 8472,75 \text{ руб}$$

Рассчитаем технологическую себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{\text{тех}} = \text{ЗМ} + \text{З}_{\text{пл}} + \Phi\text{ЗП} + O_{\text{сн}} \quad (32)$$

Для базового варианта технологии:

$$C_{\frac{\text{б}}{\text{тех}}} = 16514 + 0,24 + 12577,4 + 3773,22 = 32864,86 \text{ руб}$$

Для проектного варианта технологии:

$$C_{\frac{\text{пр}}{\text{тех}}} = 30094,04 + 0,48 + 28242,5 + 8472,75 = 66809,77 \text{ руб}$$

Вычислим цеховую себестоимость:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} \cdot P_{\text{цех}} \quad (33)$$

Где $P_{\text{цех}}$ – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + k_{\text{цех}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (34)$$

где $k_{\text{цех}}$ – коэффициент цеховых расходов, 1,72;

$Z_{\text{осн}}$ – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\frac{\text{б}}{\text{цех}}} = 32864,86 + 11434 \cdot 1,72 = 52531,34 \text{ руб}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\frac{\text{пр}}{\text{цех}}} = 66809,77 + 25675 \cdot 1,72 = 110970,77 \text{ руб}$$

Определение заводской себестоимости происходит по формуле:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + k_{\text{зав}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (35)$$

где $P_{\text{зав}}$ – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{\text{зав}}$ – коэффициент заводских расходов, 1,97

Для базового варианта технологии:

$$C_{\frac{\text{б}}{\text{зав}}} = 52531,34 + 11434 \cdot 1,97 = 75056,32 \text{ руб}$$

Для проектного варианта технологии:

$$C_{\text{зав}}^{\text{пр}} = 110970,77 + 25675 \cdot 1,97 = 161550,52 \text{ руб}$$

Калькуляция себестоимости

Таблица 20 – Перечень и значения затрат на ремонтную сварку/пайку одной трещины корпуса масляного насоса

Показатели	Услов. обозн.	Варианты	
		Базовый	Проект.
Материалы	ЗМ	16514	30094,04
Фонд заработной платы	ФЗП	12577,4	28242,5
Отчисления на социальные нужды	О _{сн}	3773,22	8472,75
Затраты на оборудование	З _{об}	1,81	1,81
Затраты на площади	З _{пл}	0,24	0,48
Себестоимость технологическая	С _{тех}	32864,86	66809,77
Себестоимость цеховая	С _{цех}	52531,34	110970,77
Себестоимость заводская	С _{зав}	75056,32	161550,52

7.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Прибыль от внедрения предлагаемой технологии определим по формуле:

$$ПР_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{пр}} \quad (36)$$

$$ПР_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (75056,32 - 161550,52) \cdot 1 = -86494,2$$

Величину годового экономического эффекта вследствие внедрения предлагаемой технологии определим по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = ((C_{\text{зав}}^{\text{б}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{б}}) - (C_{\text{зав}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}})) \cdot N_{\text{пр}} \quad (37)$$

$$\Xi_r = (75056 + 0,33 \cdot 12) - (161550,52 + 0,33 \cdot 34230) = -97785,94 \text{ руб}$$

Размер уменьшения трудоемкости:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штб}} - t_{\text{штпр}}}{t_{\text{штб}}} \cdot 100\% \quad (38)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{74,43 - 148,86}{74,43} \cdot 100\% = -100\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\Xi_{\text{уг}}} \quad (39)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{34230}{97785,94} = 0,4$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности рассчитан по формуле (40):

$$E_{\text{сп}} = 1/T_{\text{ок}} \quad (40)$$

$$E_{\text{сп}} = 1/0,4 = 2,5$$

7.6 Выводы по разделу

Расчёт экономической эффективности показал, что предлагаемая в работе технология выше по стоимости оборудования и трудоёмкости выполнения ремонта. Это связано с применением в технологии смеси ацетилен и кислорода в качестве горючего газа для пайки, помимо этого присадочный материал, содержащий медь и серебро, по стоимости выше, чем электроды, применяемые в холодной сварке, описанной в 3 разделе.

Все эти данные ставили бы под сомнение применение предлагаемой технологии, однако стоит учитывать технологические особенности процессов.

Также стоит учитывать неудачный опыт ремонта холодной сваркой, описанный в разделе 3, средства, потраченные на данный вид ремонта, не окупились в принципе. В итоге пришлось убирать наплавочный металл и ремонтировать корпус маслонасоса уже предлагаемой технологией пайки. Гидравлические испытания корпуса маслонасоса после пайки и бесперебойная его эксплуатация доказывают эффективность применения предлагаемой альтернативной технологии.

Ко всему прочему, применяемые в проектной технологии присадочные материалы позволяют получить надёжное паянное соединение. К тому же следует учитывать термические условия проведения работ.

Данный тип ремонта позволит оперативно восстановить изношенную деталь и минимизировать убытки предприятия.

Заключение

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель-повышение ресурса чугунных деталей путем разработки эффективного способа ремонта повреждений, полученных в процессе эксплуатации.

Анализ возможных способов ремонта чугунных изделий показал универсальность применения холодной сварки и пайки ввиду отсутствия предварительного подогрева детали, вследствие чего уменьшения трудоёмкости процесса и отсутствия потребности в необходимом для подогрева оборудовании.

Выполнение поставленной цели в работе основывалось на примере восстановления корпуса масляного насоса газовой технологической турбины, поэтому в работе был описан неудачный способ ремонта корпуса маслонасоса холодной сваркой на предприятии ПАО «КуйбышевАзот».

Основываясь на описанном неудачном опыте и анализе известных способов восстановления деталей, была предложена альтернативная технология ремонта – высокотемпературная пайка.

В работе были проанализированы вредные и опасные производственные факторы, а также разработаны меры для их нейтрализации.

Экономический анализ показал эффективность применения альтернативной технологии, учитывая неудачный опыт ремонта холодной сваркой.

В ходе работы был спроектирован сварочный цех, предназначенный для ремонтной сварки не только изношенных чугунных деталей, но и изделий из других металлов.

Основываясь на вышеперечисленном, можно сделать вывод, что все задачи работы выполнены, цель достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абабков Н. В. Технологии и оборудование дуговой сварки и резки: учебное пособие. Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. 185 с.
2. Андреева Н. А. Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: учебное пособие. Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2020. 180 с.
3. Белов В. А. Металловедение сварки конструкционных сталей: учебное пособие. Москва: МИСИС, 2019. 134 с.
4. Быковский О. Г. Справочник сварщика: справочник. Москва: Машиностроение, 2011. 336 с.
5. Галимов Э. Р. Современные конструкционные материалы для машиностроения: учебное пособие. 3-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 268 с.
6. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок[Текст]. - Взамен ГОСТ 1412-79 в части марок чугуна; Введ. С 01.01.87 по 01.01.97. Москва: Изд-во стандартов, 1989.
7. ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения[Текст]. -Взамен ГОСТ 17325-71; Введ. С 01.01.81. Москва: Изд-во стандартов, 1989.
8. ГОСТ 23178-78. Флюсы паяльные высокотемпературные фторборатно- и боридно-галогенидные. Технические условия[Текст]. Введ. 01.01.80. Москва: Изд-во стандартов, 1989.
9. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 335 с.
10. Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. Ленинград: Издательство «Химия», 1981. 368 с.

11. Ковтунов А.И., Плахотный Д.И. Проектирование сварочных цехов и участков: Методические указания к практическим занятиям. Тольятти: ТГУ, 2014. 76 с.
12. Козловский З. А. Технология ремонта и основы технической диагностики химического оборудования: учебное пособие. Иваново: ИГХТУ, 2017. 148 с.
13. Кривоносова Е. А. Пайка металлов: учебное пособие. Пермь: ПНИПУ, 2012. 216 с.
14. Леонтьев Л. Б., Доценников Е. Д., Погодаев А. В., Чабан П. В. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна // Вестник ИШ ДВФУ. 2017. №1 с.30-35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-vozmozhnosti-perspektivnyh-metodov-svarki-detaley-iz-serogo-chuguna> (дата обращения: 15.04.2021).
15. Моргунов К. П. Насосы и насосные станции: учебное пособие. 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. 308 с.
16. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т. 2. 480 с.
17. Тюняев А. В. Основы конструирования деталей машин. Литые детали: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. 192 с.
18. Alireza Sadeghi, Ahmad Moloodi, Masoud Golestanipour, Meysam Mahdavi Shahri An investigation of abrasive wear and corrosion behavior of surface repair of gray cast iron by SMAW//Journal of Materials Research and Technology-2017.-№5.-p.90-95
19. M. Chamim, Triyono, Kuncoro Diharjo Effect of electrode and weld current on the physical and mechanical properties of cast iron welding// AIP Conference Proceedings,2017. P.40-45
20. M Žuk, J Górkа, R Dojka? A Czupryński Repair welding of cast iron coated electrodes// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. p. 50-60

21. RameshSingh Cast iron and cast steel// Applied Welding Engineering (Third Edition), 2020. p.61-76

22. Tawanda Marazani, Daniel M.Madyira, Esther T.Akinlabi Repair of Cracks in Metals: A Review// Procedia Manufacturing, 2017.p.673-679