

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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 кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Пайка ротора двигателя внутреннего сгорания»

Студент

М.Е. Шаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Б.Н. Перевезенцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

М.М. Бажутина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

«_____» _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа на тему «Пайка ротора двигателя внутреннего сгорания» составлена на 52 страницах с 16 рисунками, с 23 таблицами, с 9 диаграммами, графическая часть включает в себя 6 чертежей формата А1.

Объектом исследования в данной работе является ротор двигателя внутреннего сгорания. Эта деталь является частью роторно-поршневого двигателя. В настоящее время использование РПД значительно снизилось так как он быстро изнашивается, однако, двигатели данного типа всё ещё используют в производстве автомобилей и по сегодняшний день.

Цель работы – повышение качества паяного соединения ротора ДВС.

Бакалаврская работа решает следующие задачи:

1. Разработка технологического процесса пайки ротора ДВС
2. Безопасность и экологичность при пайке
3. Экономическая эффективность

Подводя итоги, хотелось бы подчеркнуть, что в понимании пайки был сделан значительный прогресс. Тем не менее, нужно проводить дополнительные эксперименты.

ABSTRACT

The title of on the topic "Soldering the rotor of an internal combustion engine" consists of an explanatory note on 52 pages, including 16 figures, 23 tables, 9 diagrams, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research in this bachelor's thesis is the rotor of the internal combustion engine. This is part of the rotary piston engine. Currently, the usage of this type of engine has significantly decreased as it quickly wears out, however, engines of this type are still used in the production of cars.

The aim of the project is to improve the quality of the soldering joint of the internal combustion engine rotor.

Graduation project solves the following problems:

1. Development of the technological process for soldering the rotor of an internal combustion engine
2. Safety and ecological compatibility in soldering
3. Economic efficiency

Summarizing, I would like to emphasize that significant progress has been made in understanding soldering. Nevertheless, it is necessary to conduct additional experiments.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Состояние вопроса.....	10
1.1 Описание и принцип работы ротора.....	10
1.2 Классификация и применение роторов ДВС.....	14
1.3 Свойства материалов.....	16
1.4 Пайка стали и чугуна.....	17
2 Методика и результаты исследований.....	18
2.1 Методика исследований.....	18
2.2 Результаты опытов.....	22
2.3 Заключение по разделу.....	38
3 Разработка технологического процесса изготовления ротора.....	39
4 Безопасность и экологичность.....	41
4.1 Заключение по разделу.....	44
5 Экономическая эффективность проекта.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ.....	52

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время пайка является оптимальным и распространенным способом получения неразъемного соединения деталей. Данный способ имеет положительные качества, такие как возможность соединения и разъединения детали без деформации, простота метода, соединение деталей небольших размеров и любой геометрической формы. Немаловажная часть, которую стоит учесть, при пайке изделие не расплавляется.

Обычно роторные двигатели используются в гоночных автомобилях, а также в мотоциклах и авиации. Актуальность изготовления РПД всё время растет в следствии развития машиностроительного сектора.

В данной работе рассмотрена пайка ротора двигателя внутреннего сгорания. Основными узлами двигателя являются статор – неподвижная часть двигателя и ротор – подвижная часть. В совокупности эти детали образуют роторно-поршневой двигатель. Изначально, разработка данного двигателя была предназначена для спорткаров. На сегодняшний день только эти заводы производят РПД – Mazda (Япония) и ВАЗ (Россия). РПД имеет следующие преимущества:

1. Высокие динамические характеристики
2. Малое количество деталей
3. Низкая масса
4. Низкий уровень вибраций

Недостатки:

1. Перегрев и повышенный износ
2. Огромный расход топлива
3. Нужность в дорогостоящем и точном оборудовании для изготовления комплектующих двигателя

На основании вышеперечисленных данных можно сделать вывод, что РПД идеальны для спорткаров, т.к. имеют высокий коэффициент полезного действия – около 50 процентов, что в 2 раза больше, чем у поршневых двигателей. В тоже время оба вида двигателей нуждаются в частом ремонте.

Главная цель этой работы – повышение качества паяного соединения ротора ДВС.

1 Состояние вопроса

1.1 Описание и принцип работы ротора

На рисунке 1.1 представлена конструкция камеры сгорания роторно-поршневого двигателя, который также называется двигателем Ванкеля.

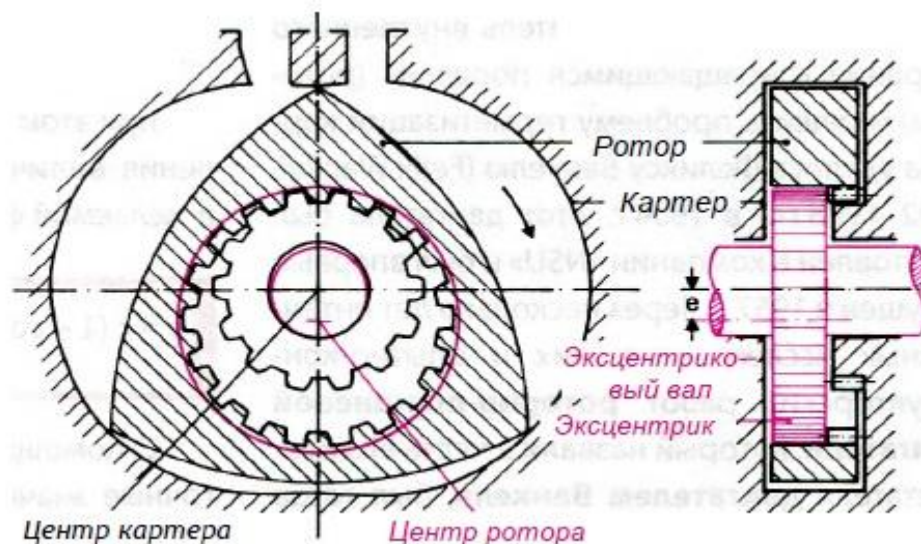


Рисунок 1.1 – Камера сгорания роторно-поршневого двигателя

На рисунке 1.1 главной составляющей конструкции является ротор, который выполнен в форме треугольника Рело – треугольника с закругленными сторонами. Сама конструкция ротора изображена на рисунке 1.2.

Камера, в которой происходят циклы сгорания топлива называется статор (картер). Если взглянуть на рис. 1.1, то можно заметить, что внутренние стенки корпуса статора выполнены в виде овала, с одной стороны которого стенка немного выпуклая. По обе стороны от этой выпуклости расположены свечи зажигания, каждая из которых выполняет свою функцию.

В зависимости от характера движения ротора, количества роторов, формы и приспособлений, все двигатели с роторно-поршневой системой

делятся на несколько видов, например, роторный двигатель с возвратно-вращательным движением. Различные модификации таких двигателей используются в зависимости от их эксплуатации. В бакалаврской работе будет рассматриваться обычный двигатель с ротором постоянного вращения (рис. 1.2).

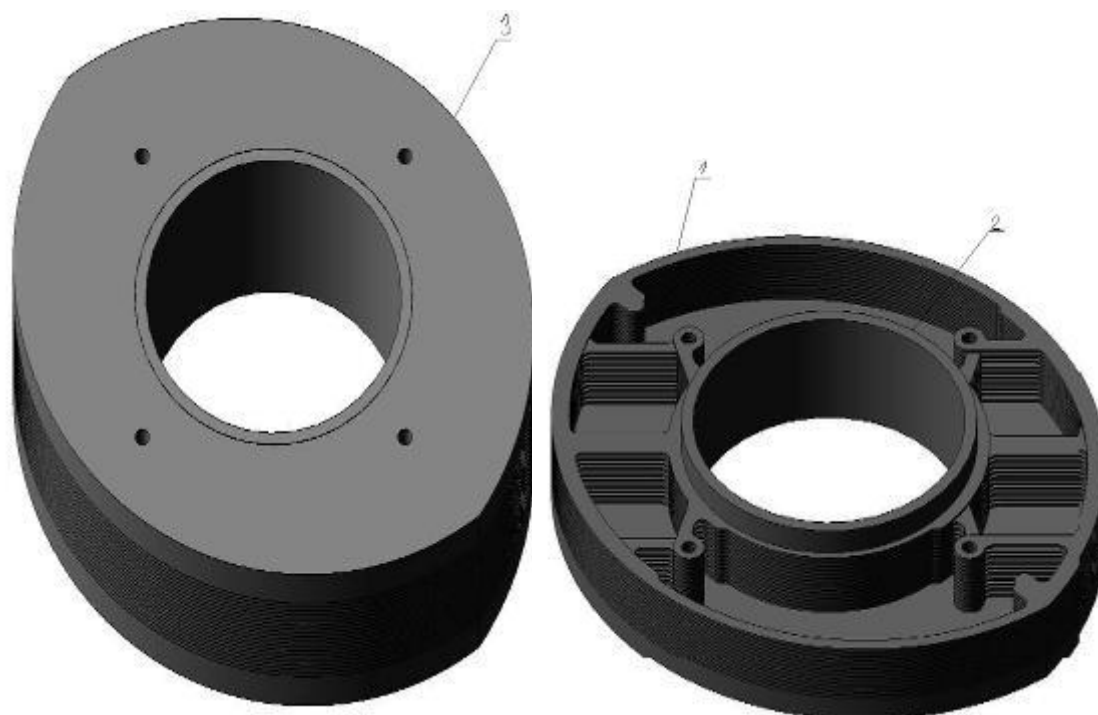


Рисунок 1.2 – Ротор ДВС

Камера двигателя (статор) устроена таким образом, что при постоянном вращении «треугольного» ротора в ней всегда существуют три области переменного объема, в которых по очереди происходят циклы сгорания топлива. Статор имеет два отверстия – для подачи топлива и для отвода выхлопного продукта (газов). Также, как и в поршневых двигателях, здесь есть четыре цикла работы топлива – впуск топлива, его сжатие, искровой разряд (сгорание топлива) и выпуск газов сгорания топлива (рис. 1.3). Стоит отметить, что в двигателе может быть не одна роторная камера, а несколько. Все это зависит от объема эксплуатируемого двигателя.

Подобное устройство двигателя позволяет избежать применения большого количества деталей и сложных узлов, как, например, в

классическом четырехтактном двигателе. Соответственно, за счёт этого у нас уменьшается масса и размеры движка, а также затраты на изготовление.

Помимо простоты и относительно малых размеров, роторный двигатель считается более сбалансированным по сравнению с теми же поршневыми и шатунными двигателями. Данное достоинство обеспечивает высокую виброустойчивость двигателя к нагрузкам на больших оборотах, а также позволяет добиться почти идеального распределения веса под капотом автомобиля. Благодаря этому управлять машиной намного легче.

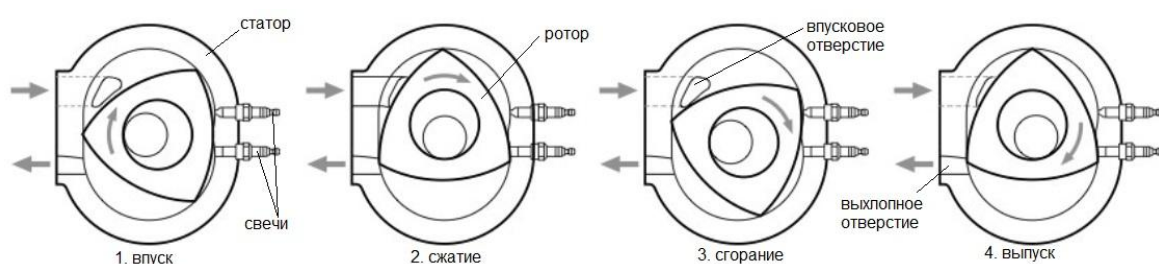


Рисунок 1.3 – Рабочий цикл роторного двигателя

Но, несмотря на все достоинства, на сегодняшний день роторный двигатель используется далеко не во всех автомобилях. У двигателя данного типа также имеются свои недостатки. Одним из таких недостатков является большой расход топлива на малых оборотах, в некоторых случаях он достигает двадцати литров на сто километров пробега. Из-за этого такие движки применяются, как правило, на спортивных и гоночных машинах, способных быстро развивать большую скорость, и соответственно, большие обороты.

Также немаловажным недостатком является сложность изготовления ротора, так как он должен обладать точными геометрическими параметрами, иначе весь двигатель будет считаться дефектным. Ротор должен совершать точное движение в статоре по кривой, а если будет отклонение, то рабочий цикл совершаться не будет. Но недостаточно изготовить правильно только лишь ротор, необходимо, чтобы все детали узла двигателя были геометрически точны. Этим обуславливается высокая стоимость

автомобилей, которые используют двигатели роторного типа, так как на их изготовление требуется дорогостоящее и высокоточное оборудование.

Стоит отметить, что роторные двигатели нужно чаще заливать маслом, так них повышенный расход масла. Если же этого не делать или делать редко, то порой не избежать дорогостоящего ремонта.

Один из главных и интересующих нас недостатков это износ ротора при повышенных нагрузках. В месте контакта ротора и корпуса камеры происходит трение поверхностей, а затем их изнашивание (рис. 1.4). На рисунке зона, где происходит изнашивание, показана только с одного угла. Очевидно, что таких зон три, на каждом углу ротора. Несмотря на то, что ротор изготавливается из легированной, стали, вероятность изнашивания крайне высока. Данный дефект является недопустимым ни в коем случае, так как сразу нарушается рабочий цикл двигателя из-за отсутствия герметичности камер сгорания. Именно поэтому ремонт, а именно пайка, в таких случаях является первостепенной задачей.



Рисунок 1.4 – Зона изнашивания ротора ДВС

1.2 Классификация и применение роторов ДВС

Классификация роторных двигателей происходит по типу работы камеры сгорания — запирается она на время герметично, или имеет постоянную связь с атмосферой. К последнему типу относятся газовые турбины, камеры сгорания которых отделены от выхлопного сопла (от атмосферы) лишь густым «частоколом» лопастей роторной крыльчатки [26].

Роторные ДВС с герметично запираемыми камерами сгорания делятся на 7 различных конструкционных компоновок:

1. Роторные двигатели с неравномерным разнонаправленным (возвратно-вращательным) движением главного рабочего элемента. Ротор здесь не вращается, а как бы качается вокруг своей оси. Процесс сжатия происходит между лопатками мотора [26].

2. Роторные двигатели с неравномерным однонаправленным (пульсирующе-вращательным) движением главного рабочего элемента. Внутри корпуса два ротора. Сжатие проходит между лопастями этих двух элементов, когда они сближаются и удаляются [26].

3. Роторные двигатели с простым и равномерным вращательным движением главного рабочего элемента и с уплотнительными заслонками-лопастями, движущимися в роторе. Данная конструкция до сих пор широко задействуется в пневматических моторах. Для роторных двигателей внутреннего сгорания существенно переделывается камера, в которой проходит воспламенение [26].

4. Частный случай — с заслонками-лопастями, отклоняющимися на шарнирах на роторе [26].

5. Роторные двигатели с простым и равномерным вращательным движением главного рабочего элемента и с уплотнительными заслонками, движущимися в корпусе [26].

6. Роторные двигатели с простым и равномерным вращательным движением главного рабочего элемента и с использованием такого же простого вращательного движения уплотнительных элементов [26].

7. Роторные двигатели с простым вращательным движением главного рабочего элемента, без применения отдельных уплотнительных элементов и спиральной организацией формы рабочих камер. Считаются наиболее технически совершенными за счет отсутствия деталей, совершающих возвратно-поступательные движения. Именно они являются РПД («двигателем Ванкеля») в классическом современном понимании. РПД такого типа легко достигают 10000 об/мин [26].

8. Роторные двигатели с планетарным вращательным движением главного рабочего элемента и без применения отдельных уплотнительных элементов. Самая первая модификация, изобретённая Фройде и Ванкелем [26].

Первым серийным автомобилем с роторным двигателем стал NSU Spider, который был выпущен в 1964 году. NSU — немецкая компания, основанная в 1873 году, которая выпускала автомобили и мотоциклы. До 1969 года просуществовала как отдельная компания, далее была куплена концерном Volkswagen Group [26].

Первой массовой (37204 экземпляра) стала модель NSU Ro-80, настоящий прорыв благодаря правильному маркетингу. Однако ставка на «революционную технологию» РПД, еще не отлаженную в реальных условиях, стала серьезной ошибкой. Ресурс двигателя составил не более 50 тыс. километров, а зачастую и сильно меньше. РПД часто заменяли на поршневой L4 «Essex» фирмы Ford [26].

Также РПД устанавливались на автомобили:

Citroen GS Birotor (проект Citroën M35)

Mercedes-Benz C111

Chevrolet Corvette

BAZ 21018 (1976 год), 21079 и 2110 (модификации для спецслужб)

Mazda (с 1978 года, Cosmo Sport и серия Rotor-eXperiment, широко известная как RX)

Серия RX завершена в 2008 году на модели RX-8. Всего в серии выпущено более миллиона машин с РПД. Всего на пике популярности патент на двигатель Ванкеля был куплен 11 ведущими автопроизводителями мира [26].

Интересно, что автомобили Mazda с буквами RE в наименовании (первые буквы от названия «Renesiс») могут использовать в качестве топлива как бензин, так и водород (так как менее чувствителен к детонации, чем обычный двигатель, использующий возвратно-поступательное движение поршня) [26].

Также РПД применяются на мотоциклах (мелкими сериями) и в авиационном моделизме [26].

Интересно, что, получив патент на РПД в 1936 году, Феликс Ванкель стал изобретателем не только двигателя внутреннего сгорания, но еще и роторно-поршневых насоса и компрессора. И эти устройства можно встретить гораздо чаще, чем РПД — на производстве, в ремонтных мастерских, в быту. Например, портативные электрические компрессоры для автомобилистов очень часто устроены по принципу роторно-поршневого насоса [26].

1.3 Свойства материалов

Таблица 1.1 – Химический состав стали 20

Mn	Si	C	S	Ni	Cr	P	As	Cu
0.35 - 0.65	0.17 - 0.37	0.17 – 0.24	До 0.4	До 0.3	До 0.25	До 0.035	До 0.08	До 0.3

Таблица 1.2 – Химический состав серого чугуна СЧ20

Mn	Si	C	S	P
0.7 - 1	1.4 - 2.4	3.3 - 3.5	До 0.15	До 0.2

1.4 Пайка стали и чугуна

Один из лучших припоев для пайки стали это латунь. Этот сплав, основной состав которого состоит из меди и цинка имеет ряд преимуществ: высокое качество прочности соединения, дешевизна, физико-химическая совместимость с материалами для пайки данного ротора. Главным недостатком является испарение цинка, из-за него появляются дефекты в паяном соединении. Устранить данный недостаток можно пайкой с быстрым нагревом. Элементы легирования в латуни препятствуют процессу испарения цинка. К ним относятся олово и кремний. Помещение в контейнер тиглей с цинком значительно замедляет испарение цинка из припоя. Цинк хорошо взаимодействует с кислородом, поэтому нет необходимости в использовании флюса при пайке. С пайкой чугуна дело обстоит сложнее. Графит, который входит в состав чугуна, затрудняет пайку. Для его растворения необходимо использование активных флюсов таких как П209, ПВ285Х. Из-за них происходит смачивание поверхностей припоем. Латунь, в качестве припоя, также идеально подойдет для пайки чугуна. Также можно использовать сплавы на основе серебра, меди. Цинковые и оловянно-свинцовые припои применяются реже, т.к. качество паяного соединения оставляет желать лучшего.

2 Методика и результаты исследований

2.1 Методика исследований

В ходе прохождения преддипломной практики мне было дано задание улучшить технологический процесс пайки ротора двигателя внутреннего сгорания экспериментальной конструкции. Ротор представляет собой сложную пространственную конструкцию, состоящую из набора пластин, соединяемых между собой пайкой. На макетах ротора были выявлены дефекты паяных соединений, в связи с чем было решено провести дополнительные исследования на образцах.

Образцы представляли собой нахлесточные паяные соединения, изготовленные из стальных пластин толщиной 1 мм, длиной 40 и шириной от 10 до 30 мм. Величина нахлестки составляла от 5 до 20 мм.

К основным операциям обработки образцов относятся: резка пластин, подготовка поверхностей, сборка, взвешивание, загрузка в печь и пайка, охлаждение, распиливание и контроль качества. Рассмотрим каждую из них.

Резка пластин. Для начала берутся стальные пластины, нарезаются ножовкой по металлу. Размеры в каждом опыте указаны.

Подготовка поверхностей начинается с проверки пластин на отсутствие дефектов. Зажимаются в тисках и обрабатываются напильником. Далее устраняются неровности с помощью наждачной бумаги. Качество соединения зависит от подготовки поверхности.

Сборка. На образцы наносятся номера (номер образца и номера зон от 1 до 4 вдоль нахлестки). Протираются ацетоном. Далее наносится паста на нахлестку (в каждом опыте указана величина), пластины собираются и закрепляются конденсаторной контактной сваркой с помощью полос из фольги нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Взвешиваем образцы с помощью аналитических весов с точностью до 0,0001 г.

Пластины с припоем укладываются на дно контейнера, рядом ставятся тигли с активаторами и термопара (рис.2.1). Закрываем крышку контейнера. Засыпаем карбюризатор и песок в затвор контейнера. Загружается контейнер в предварительно нагретую печь до 950°C. При нагреве контролируется изменение со временем температуры в контейнере и температуры печи.

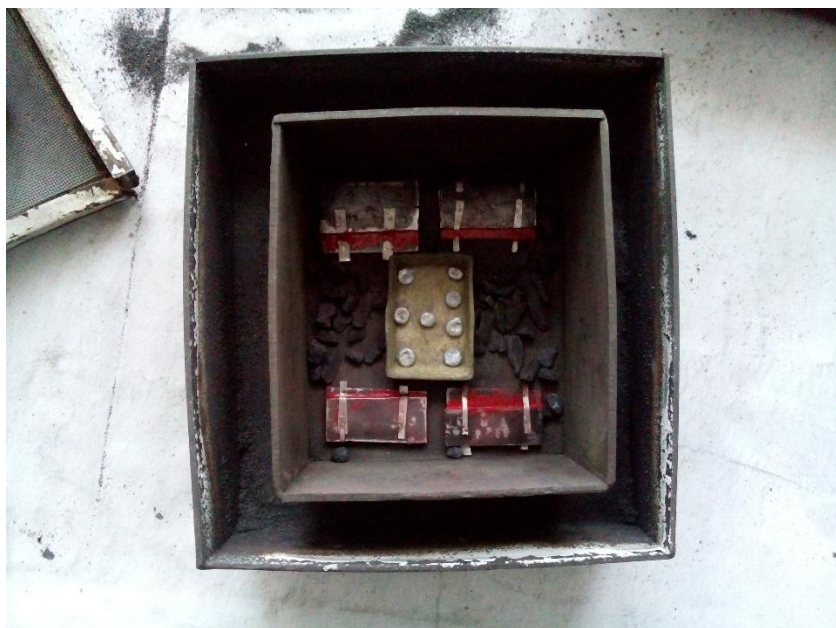


Рисунок 2.1 – Контейнер перед загрузкой

Охлаждение. После пайки контейнер выгружается из печи (рис. 2.2) и охлаждается на воздухе до комнатной температуры. Затем взвешиваются образцы и тигель с цинком.

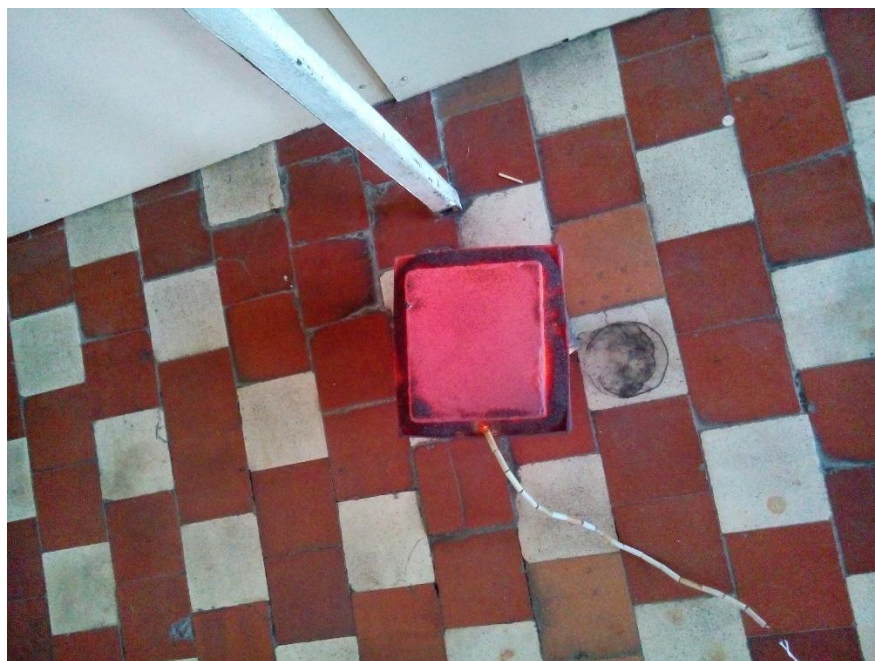


Рисунок 2.2 – Контейнер после пайки

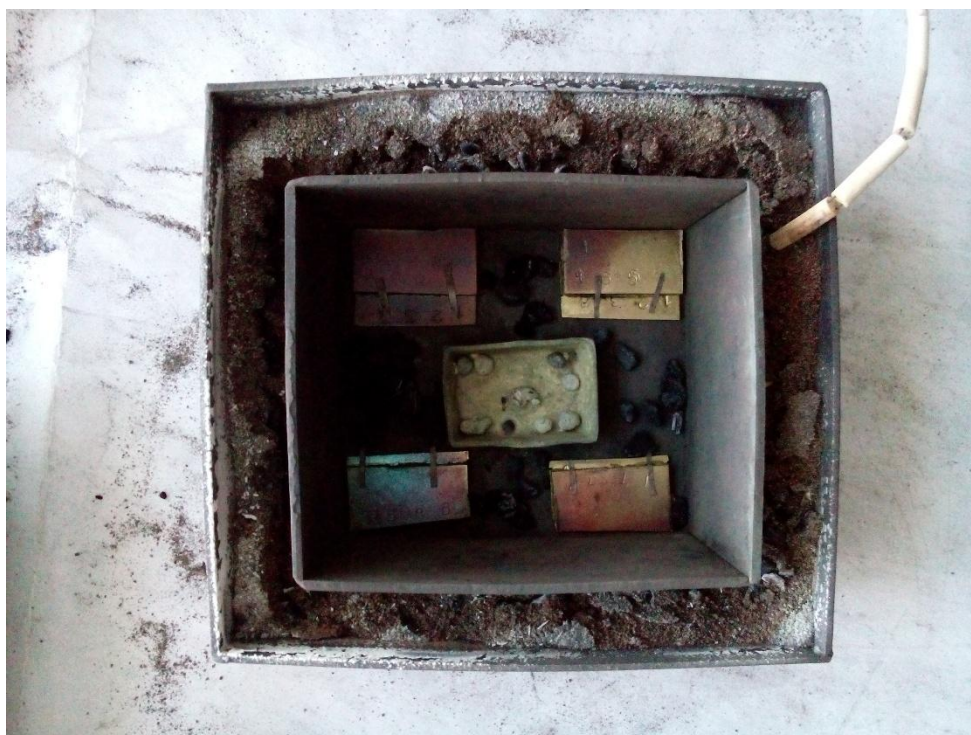


Рисунок 2.3 – Образцы после пайки

Распиливание и контроль качества. Распиливаются ножовкой образцы и визуально проверяется паяное соединение. Затем изготавливаются шлифы для микроструктурных исследований.

Таблица 2.1 – Техническая характеристика печи СНО 200/12

Объём, литров	Макс. Температура °C	Напряжение, В	Мощность, кВт	Вес, кг	Рабочая камера	Габариты
200	1250	380	24	600	500x550x750	1200x1400x1450

Таблица 2.2 – Химический состав паяльной пасты ППВС

Cu ₂ O, %	Fe ₂ O ₃ , %	C ₂ H ₄ (OH) ₂ , %	ПАВ, %	Активное вещество, %	Li ₂ SO ₄ , %	H ₂ O, %
60-95	1-9	1-18	0,01-1	0,1-1	0,01-5	1,4-12

2.2 Результаты опытов

1 опыт

Таблица 3.1 – Данные 1 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
1	18,6368	18,9984	18,7292	5
2	19,0152	19,0984	19,0508	5
3	17,7164	19,0950	17,8696	5
4	17,5905	19,0907	17,6864	5
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
1	14,4559	17,4559	14,5119	3

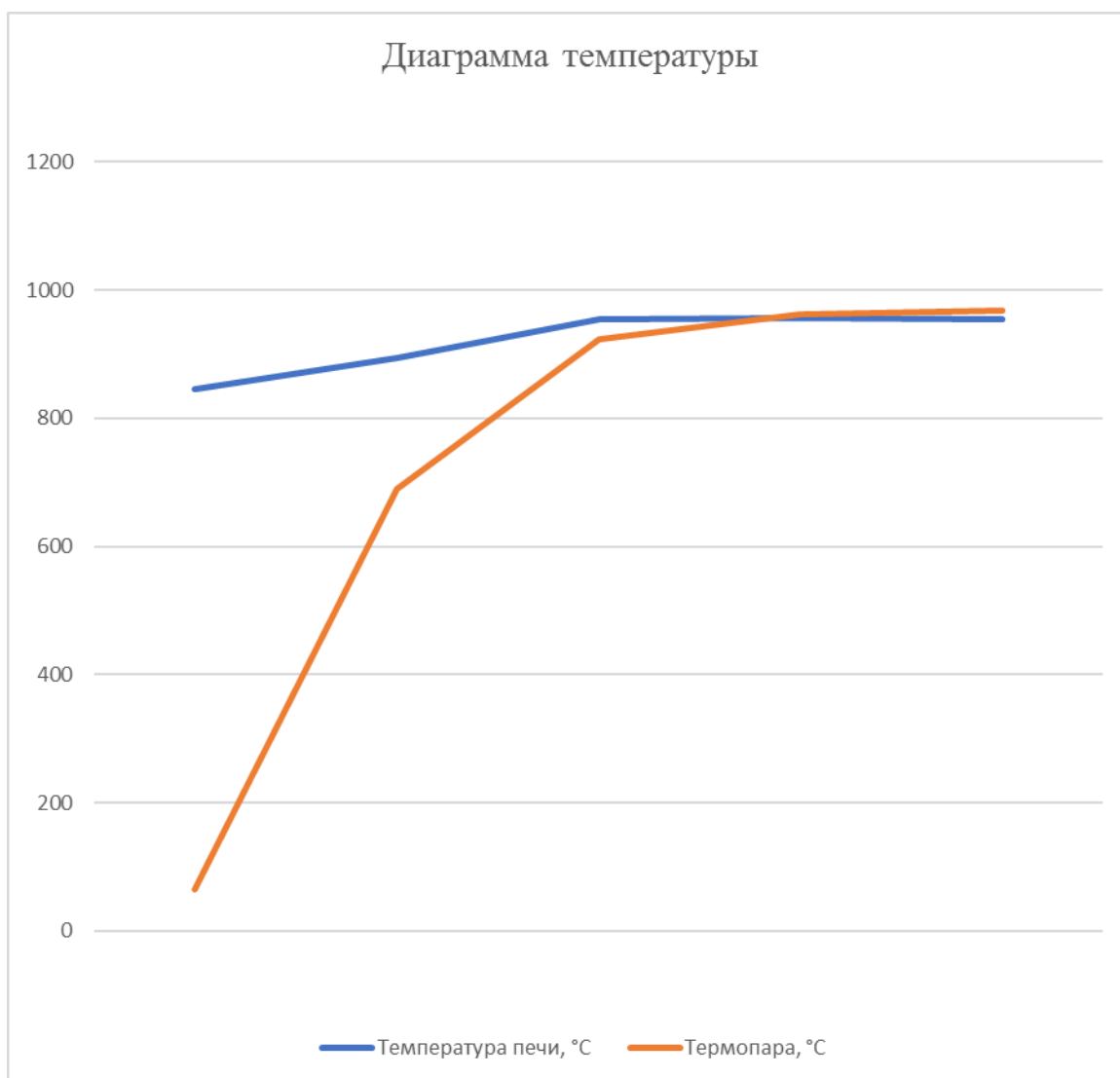


Рисунок 2.4 – Диаграмма температуры, 1 опыт



Рисунок 2.5 – Образцы после пайки, 1 опыт

В 1 опыте паяльная паста помещалась непосредственно между пластинами в нахлестку. Результат опыта можно назвать неудовлетворительным, так как были непропаи и трещины.

2 опыт

Таблица 3.2 – Данные 2 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
5	18,9742	19,2966	19,3375	10
6	18,7706	18,8700	18,8623	10
7	18,2985	18,4505	18,4620	15
8	17,5175	18,1644	18,2315	15
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
2	14,4570	17,5810	14,6402	3,1238

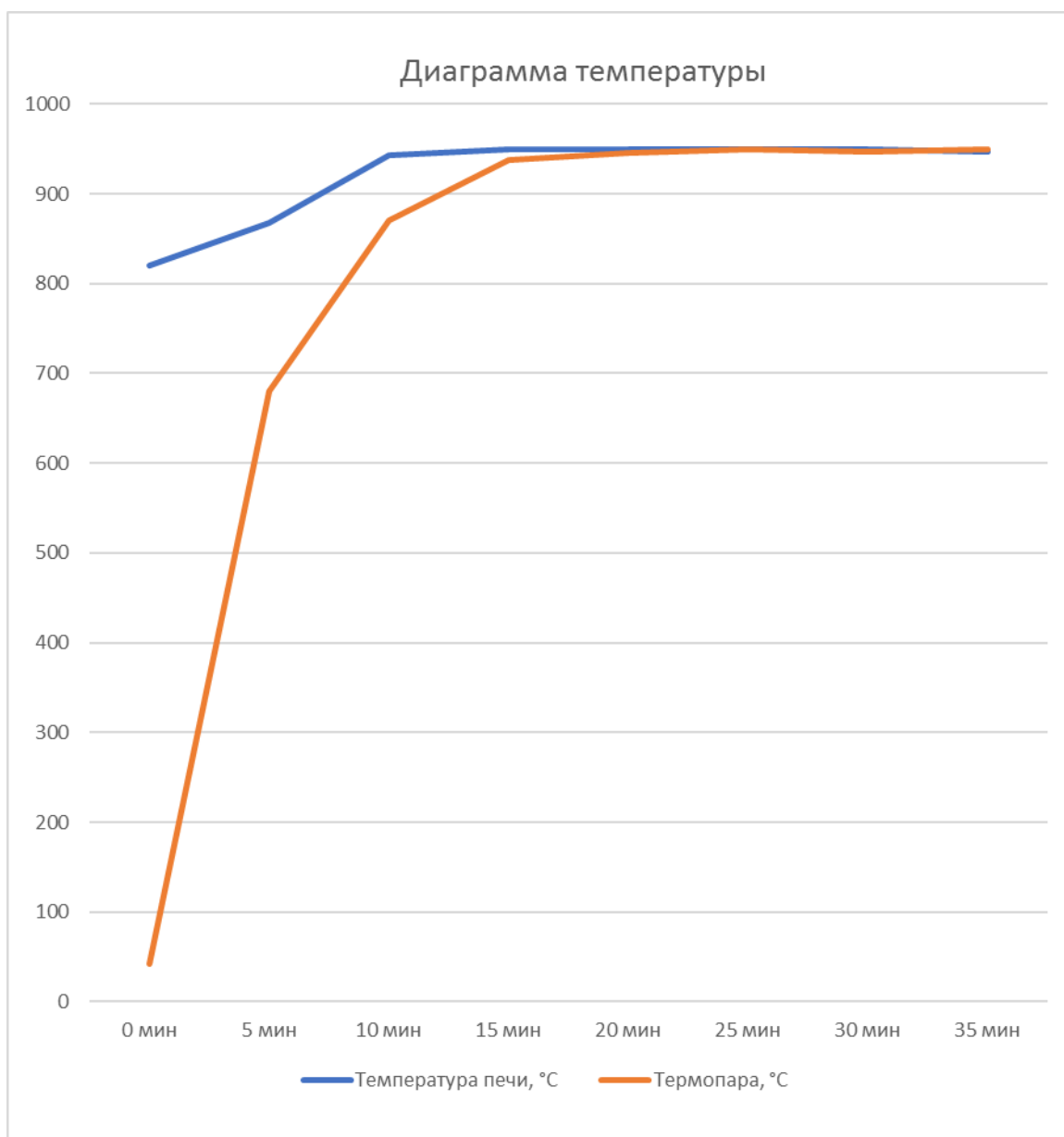


Рисунок 2.6 – Диаграмма температуры, 2 опыт



Рисунок 2.7 – Образцы после пайки, 2 опыт

Во 2 опыте паяльная паста также помещалась в нахлестку между пластинами, увеличили ширину нахлестки. Результат неудовлетворителен.

3 опыт

Таблица 3.3 – Данные 3 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
9	18,1620	18,5750	18,6340	15
10	17,3698	17,4382	17,4373	15
11	15,3051	15,3051	15,6557	10
12	17,7966	17,7966	17,9537	10
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
3	14,5518	17,5938	14,6011	3,0418

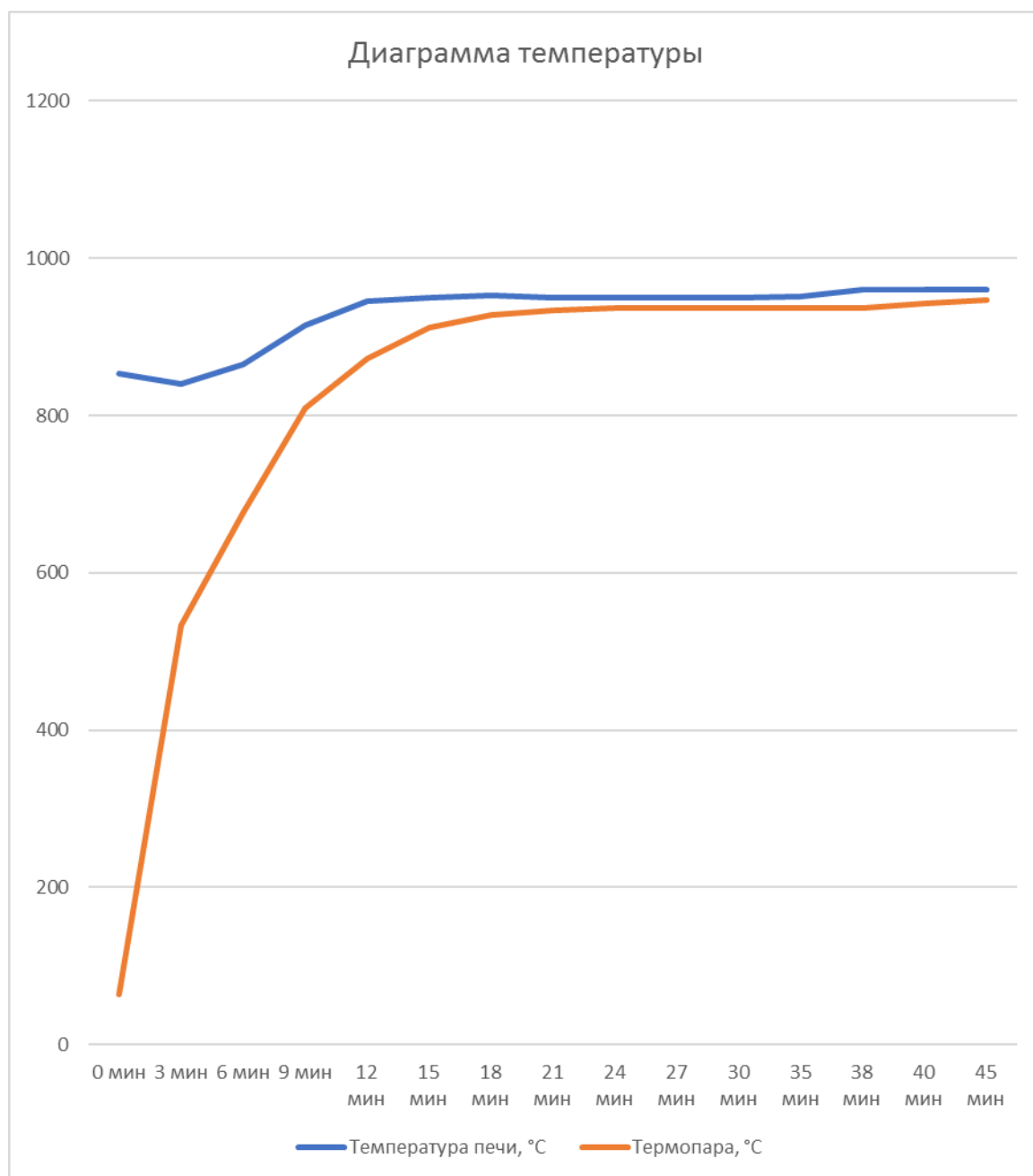


Рисунок 2.8 – Диаграмма температуры, 3 опыт



Рисунок 2.9 – Образцы после пайки, 3 опыт

В 3 опыте паста помещалась также в нахлестку между пластинами. Результат удовлетворителен, но все еще есть дефекты паяного соединения.

4 опыт

Таблица 3.4 – Данные 4 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
13	18,3432	19,0142	19,0368	15
14	18,7591	20,1019	20,1252	15
15	14,9087	16,0705	16,1003	10
16	14,3347	15,8993	16,0647	10
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
4	14,5514	17,6345	14,7289	3,0831



Рисунок 2.10 – Диаграмма температуры, 4 опыт



Рисунок 2.11 – Образцы после пайки, 4 опыт

В 4 опыте паяльная паста помещалась снаружи нахлестки. Результат удовлетворителен.

5 опыт

Таблица 3.5 – Данные 5 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
17	19,2955	20,0884	20,1220	20
18	23,4517	24,2010	24,3142	20
19	15,6518	16,1769	16,2220	15
20	15,1615	16,0104	16,0947	10
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
5	14,6514	18,6624	14,8289	4,0110

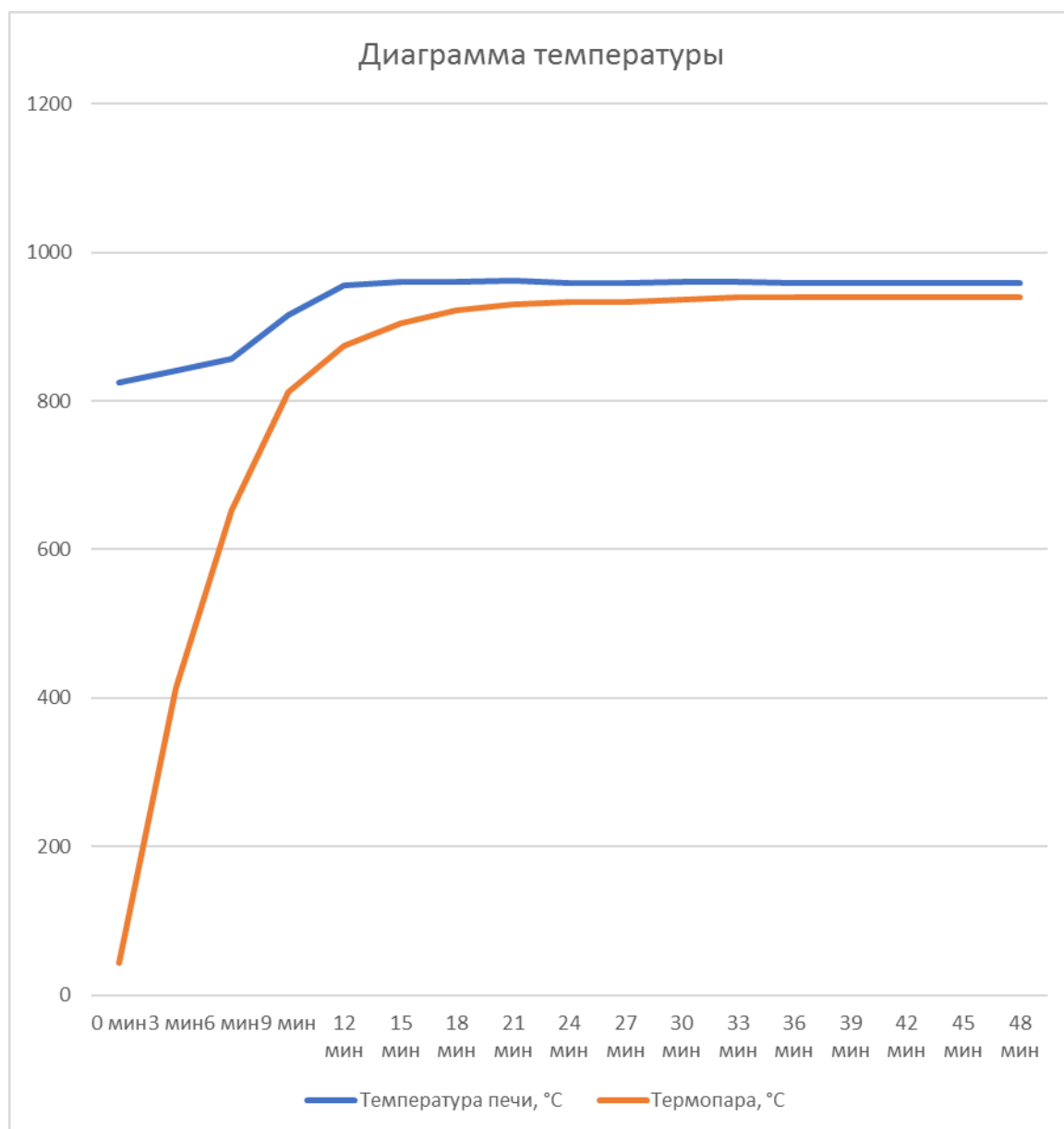


Рисунок 2.12 – Диаграмма температуры, 5 опыт



Рисунок 2.13 – Образцы после пайки, 5 опыт

В 5 опыте паста также помещалась снаружи нахлестки, увеличили ширину нахлестки и количество цинка. Результат удовлетворительный.

6 опыт

Таблица 3.6 – Данные 6 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
21	20,0232	20,6092	20,7314	20
22	19,4511	20,0681	20,1814	20
23	20,0764	20,4884	20,5931	20
24	18,0315	18,5063	18,5871	20
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
6	14,6405	18,6515	14,7409	4,0110

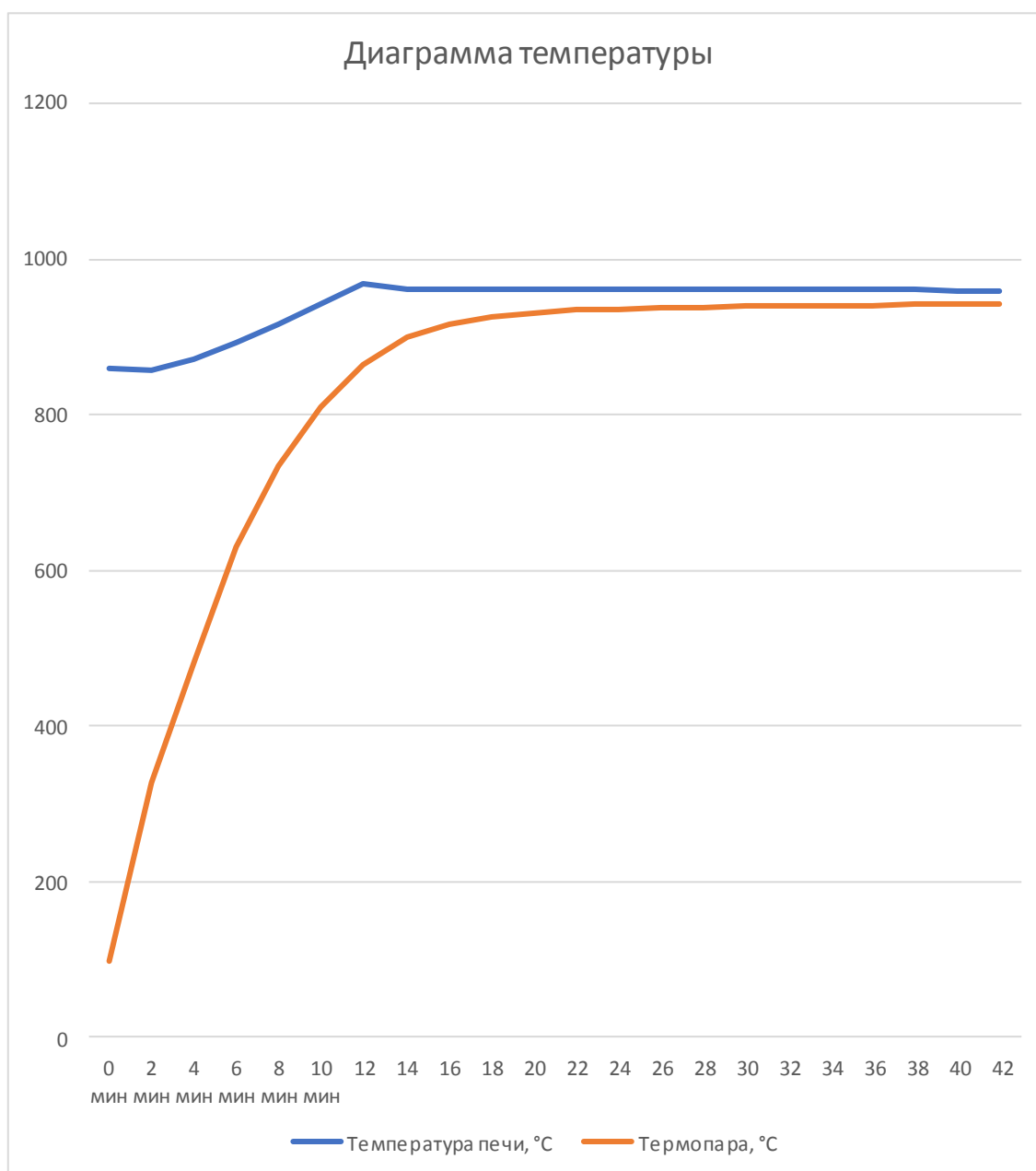


Рисунок 2.14 – Диаграмма температуры, 6 опыт



Рисунок 2.15 – Образцы после пайки, 6 опыт

В 6 опыте паста помещалась внутри нахлестки. Результат неудовлетворителен.

7 опыт

Таблица 3.7 – Данные 7 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
25	18,7157	19,3142	10,7322	20
26	18,2660	18,9702	13,2304	20
27	19,2710	19,7504	12,9472	20
28	23,7750	24,2408	16,6202	20
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
7	14,6502	18,8553	14,8911	4,2051

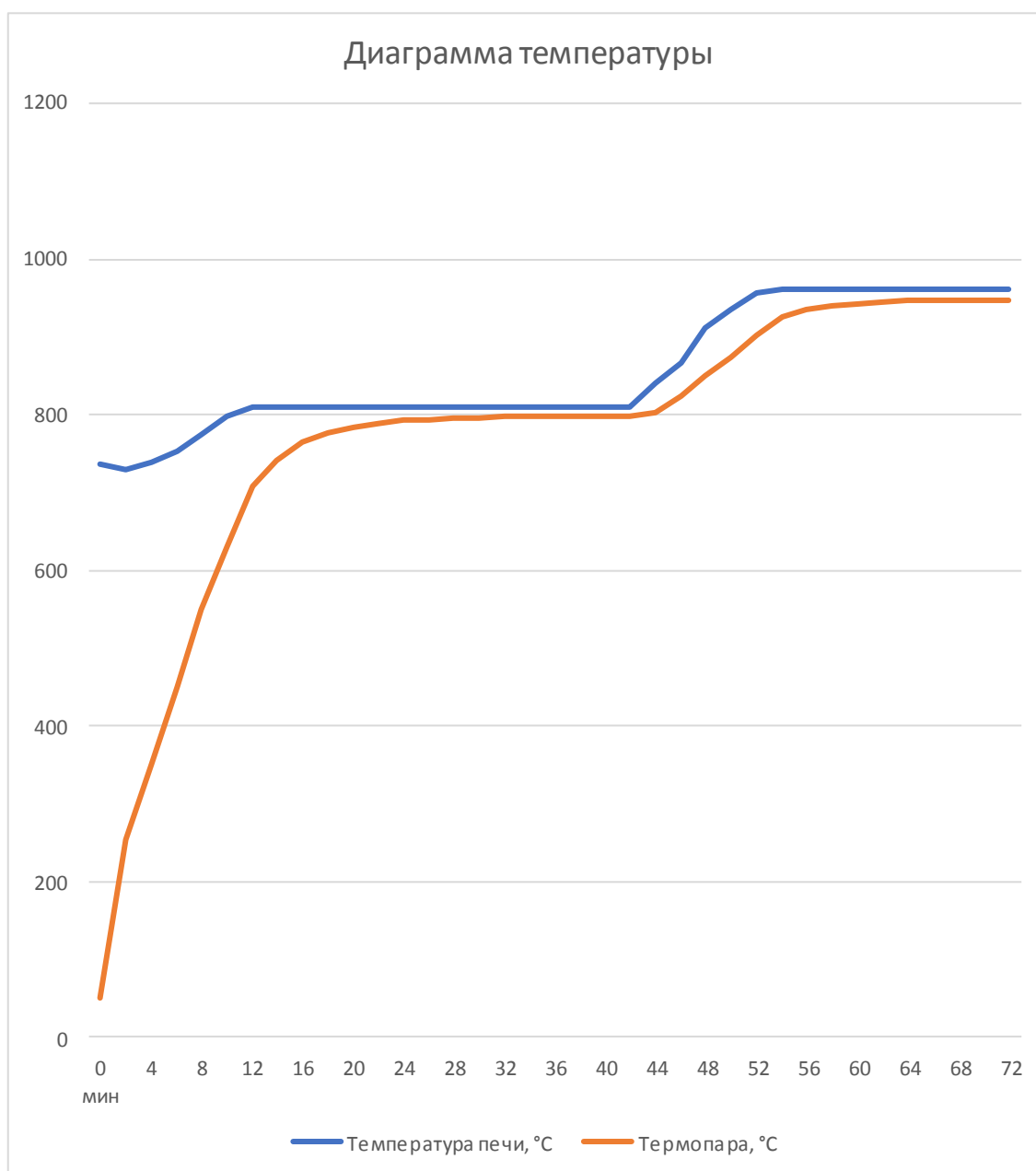


Рисунок 2.16 – Диаграмма температуры, 7 опыт



Рисунок 2.17 – Образцы после пайки, 7 опыт

В 7 опыте паста помещалась внутри нахлестки. Сделали выдержку при 800°C , а потом при 950°C . Результат хороший.

8 опыт

Таблица 3.8 – Данные 8 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
29	21,1442	21,8052	21,9524	20
30	20,4440	21,2977	21,4465	20
31	22,0716	24,0101	24,1235	20
32	22,4115	23,5202	23,7016	20
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
8	14,7443	18,9142	14,8923	4,1699

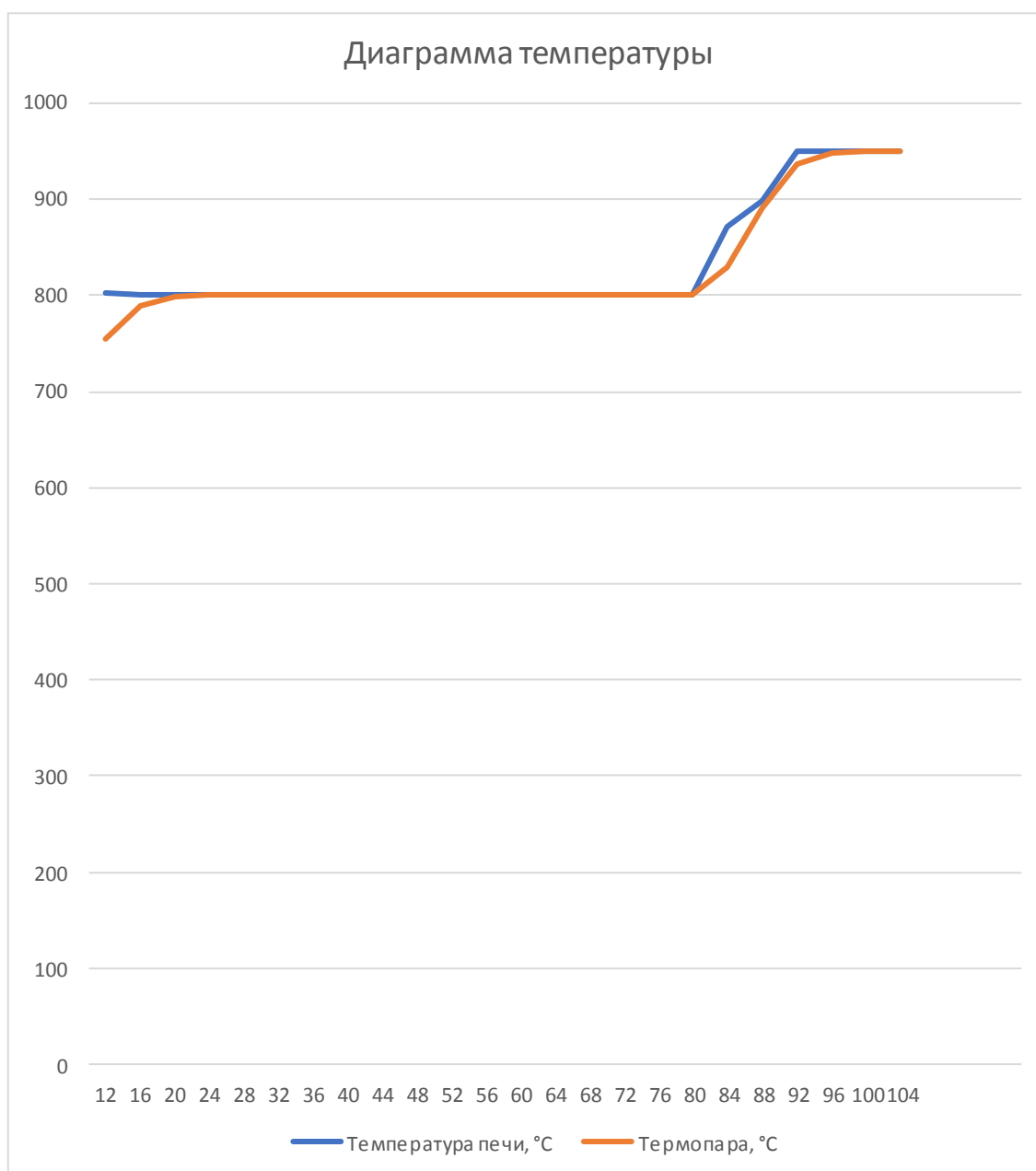


Рисунок 2.18 – Диаграмма температуры, 8 опыт

9 опыт

Таблица 3.9 – Данные 9 опыта

№	Масса обр. без пасты, г	С пастой, г	После пайки, г	Нахлестка, мм
33	61,6778	67,0250	65,6953	20
34	56,7525	62,5215	62,7525	20
№	Тигель пустой, г	Тигель с цинком, г	Тигель с окислом, г	Цинк, г
9	14,8303	23,8903	14,9503	9,0600

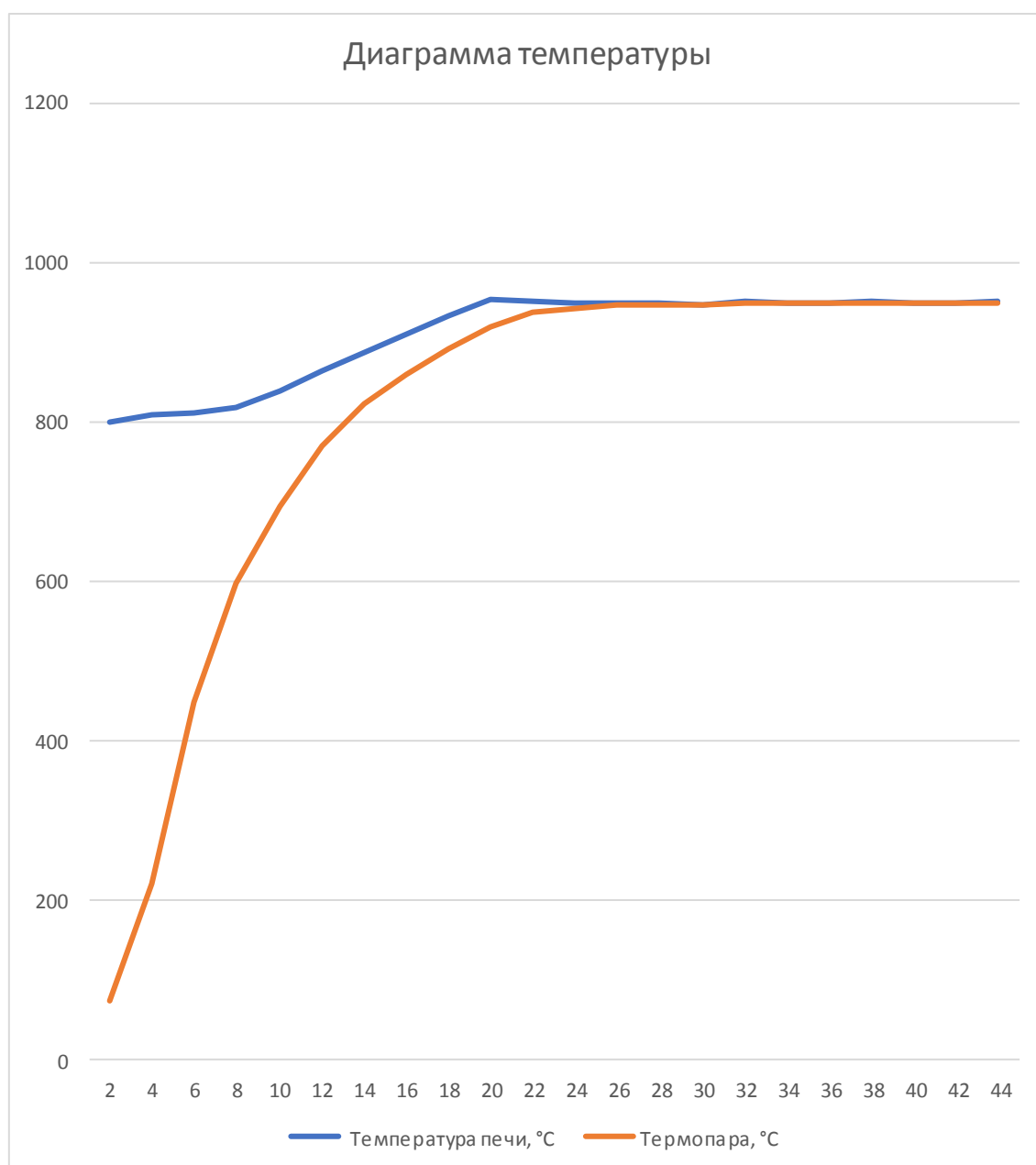


Рисунок 2.19 – Диаграмма температуры, 9 опыт



Рисунок 2.20 – Образцы после пайки, 9 опыт

В 9 опыте паста помещалась снаружи нахлестки. Количество пластин, паяльной пасты и цинка было увеличено. Результат отличный, соединение получилось без трещин и непропаев.

2.3 Заключение по разделу

По результатам проведенных опытов был разработан технологический процесс, выбраны параметры для пайки, которые обеспечат высокое качество паяного соединения ротора ДВС.

Рекомендуемые параметры пайки (исходя из результатов опытов): температура печи 950°C , время выдержки 10 мин. при температуре 950°C , паста помещается с наружной стороны, количество пасты и цинка напрямую зависит от величины соединения.

3 Разработка технологического процесса изготовления ротора

На основании результатов проведенных исследований предлагается следующий технологический процесс пайки ротора.

Подготовка деталей к пайке начинается с визуального контроля заготовок, не допускаются деформации, а также дефекты литья. Осмотр происходит с помощью лупы $\times 4 \dots 10$.

Очистка. Перед сборкой тщательно обезжириваем и удаляем загрязнения с заготовок при помощи ацетона. Далее промываем водой и просушиваем в сушильном шкафу. Наличие грязи, масла и ржавчины на поверхностях изделий не допускается.

Сборка. Сначала устанавливаем кольцо в отверстие чугунной пластины. Наносим слой пасты припоя на внешний диаметр кольца и на одну сторону пластины. Затем стальные пластины надеваются на кольцо, с нанесенной пастой припоя с наружной стороны. Зазор между пластинами равен 0,1 мм который устанавливается при помощи щупа. Последней устанавливают вторую чугунную пластину с нанесенной пастой припоя на одну сторону. Далее конструкцию стягиваем шпильками через специальные отверстия. После сборки на внешнюю сторону ротора наносят слой припоя.



Рисунок 3.1 – Ротор в сборе

Пайка. Собранный ротор с тиглями с цинком и карбюризатором помещают в контейнер, накрывают крышкой, и в затвор контейнера засыпают песок с карбюризатором. Загружают контейнер в печь предварительно нагретую до 950°C , делают выдержку 10 минут при температуре 950°C . Выгружают контейнер из печи и дают остыть до комнатной температуры.

Контроль качества. С помощью лупы проводят визуальный контроль. Непропаи, трещины, поры не допускаются.

4 Безопасность и экологичность

В разделе безопасность и экологичность при пайке за основу взят технологический процесс проведения исследований. Процессы изготовления ротора и исследований практически одинаковы, риски при производстве и методы защиты от них приведены в данной главе.

Таблица 4.1 – Технологический паспорт

№	Технологическая операция	Наименование должности работника, выполняющего операцию	Оборудование	Материалы
1	Резка пластин	Сборщик	Ножовка по металлу, тиски	Стальные пластины
2	Подготовка поверхностей	Сборщик	Напильник, наждачная бумага, тиски	Ацетон, вата
3	Сборка	Паяльщик	Стол, молоток, номера, установка для конденсаторной контактной сварки	12X18H10T, паста ППВС
4	Взвешивание	Сборщик	Весы, пинцет	Образцы
5	Загрузка в печь и пайка	Паяльщик	Печь, контейнер, щипцы	Образцы, ППВС, цинк, карбюризатор, песок
6	Охлаждение	Паяльщик	Контейнер	-
7	Распиливание и контроль качества	Дефектоскопист	Ножовка по металлу, тиски, лупа	Образцы

Технологический процесс проведения исследований связан с различными опасностями. Они могут привести работника к временной или полной нетрудоспособности. Все зависит от интенсивности воздействия и стечения обстоятельств. При пайке образцов можно выделить следующие опасные производственные факторы: острые кромки на заготовках и ножовке по металлу, попадание ацетона в глаза, удар молотком по пальцу, удар током, высокая температура оборудования, вредные испарения цинка.

Таблица 4.2 – Идентификация рисков

№	Технологическая операция	Опасные факторы	Источники опасных факторов
1	Резка пластин	Острые кромки на заготовках и ножовке по металлу	Поверхности заготовок, ножовка по металлу
2	Подготовка поверхностей	Острые кромки на заготовках, попадание ацетона в глаза	Поверхности заготовок, ацетон
3	Сборка	Удар молотком по пальцу, удар током от установки для конденсаторной контактной сварки	Молоток, установка для конденсаторной контактной сварки
4	Взвешивание	-	-
5	Загрузка в печь и пайка	Высокая температура печи, вредные испарения цинка	Печь, цинк
6	Охлаждение	Высокая температура печи и контейнера	Печь, контейнер
7	Контроль качества	Острые кромки ножовки по металлу	Ножовка по металлу

Таблица 4.3 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

№	Опасный производственный фактор	Методы и средства защиты	Средства индивидуальной защиты работника
1	Острые кромки на заготовках и ножовке по металлу	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки
2	Попадание ацетона в глаза	Инструктаж по технике безопасности	Защитные очки, перчатки
3	Удар молотком по пальцу	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки
4	Удар током от установки для конденсаторной контактной сварки	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда
5	Высокая температура оборудования	Герметизация оборудования, инструктаж по технике безопасности	Защитные очки, перчатки, спецодежда
6	Вредные испарения цинка	Вентиляция	Респиратор

На участке где происходит пайка не исключена вероятность возникновения пожара, методы борьбы с ним указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Пожарная безопасность

1	Средства пожаротушения	Огнетушитель, песок
2	Средства индивидуальной защиты	Аптечка
3	Пожарный инструмент	Ведро пожарное, топор, лопата
4	Пожарная сигнализация	Автоматическая установка пожарной сигнализации

4.1 Заключение по разделу

В процессе выполнения раздела безопасность и экологичность данной вкр выявлены опасные производственные факторы и его источники. Выполнен анализ методов и средств защиты от них. Анализ показал, что применяемых стандартных средств защиты на предприятии достаточно для безопасности персонала и окружающей среды. Разрабатывать дополнительные средства защиты не нужно.

5 Экономическая эффективность проекта

5.1 Стоимость и затраты материалов на пайку ротора

Таблица 5.1 – Стоимость материалов

№	Наименование	Стоимость
1	Сталь 20	25 руб./кг
2	СЧ20	42 руб./кг
3	Паста ППВС	3000 руб./кг
4	Цинк	70 руб./кг
5	Карбюризатор	75 руб./кг
6	Печь камерная СНО 200/12	260000 руб.
7	Контейнер	10000 руб.

Таблица 5.2 – Затраты материалов

№	Наименование	Масса
1	Сталь 20	1550 г.
2	СЧ20	3500 г.
3	Паста ППВС	130 г.
4	Цинк	9 г.
5	Карбюризатор	10 г.

5.2 Вычисление времени на выполнение операций

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_b + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{н.п}}$$

Таблица 5.3 – Трудоемкость операций

Операции	t_o	$t_{\text{в}}$	$t_{\text{отл}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{н.п}}$	$t_{\text{шт}}$
Подготовка к пайке	60	3	3	4,8	10	80,8
Пайка	60	3	3	4,8	10	80,8
Итого	120	6	6	9,6	20	161,6

5.3 Затраты на спецоборудование

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} = 32400 + 108000 = 140400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{пр}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_3 = 270000 \cdot 0,12 = 32400 \text{ руб.}$$

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = 5000 \cdot 2,69 / 1827 \cdot 60 = 0,12$$

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} = 0,12 / 1 = 0,12$$

$$\Phi_{\text{эф.}} = (\Pi_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{см.}} - \Pi_{\text{пред.}} \cdot T_{\text{сокр.}}) \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) = (250 \cdot 8 - 8 \cdot 7) \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1827 \text{ час.}$$

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} = 54000 + 54000 = 108000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{монт}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} = 270000 \cdot 0,2 = 54000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{дем}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} = 270000 \cdot 0,2 = 54000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} = 140400 / 5000 = 28,08 \text{ руб.}$$

5.4 Расчет себестоимости

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всн}} = 185,75 + 391,38 = 577,13 \text{ руб.}$$

Затраты на сталь 20, СЧ20

$$ЗМ = Н_{\text{стали(чугуна)}} * Ц_{\text{стали(чугуна)}}$$

$$ЗМ \text{ сталь } 20 = 1,550 * 25 = 38,75 \text{ руб.}$$

$$ЗМ \text{ СЧ20} = 3,500 * 42 = 147 \text{ руб.}$$

$$ЗМ \text{ общ.} = 38,75 + 147 = 185,75 \text{ руб.}$$

$$ЗМ = Н_{\text{цинк(карб.)}} * Ц_{\text{цинк(карб.)}}$$

$$ЗМ \text{ карб.} = 0,010 * 75 = 0,75 \text{ руб.}$$

$$ЗМ \text{ цинк} = 0,009 * 70 = 0,63 \text{ руб.}$$

$$З \text{ паста} = Н \text{ паста} * Ц \text{ паста} = 0,130 * 3000 = 390 \text{ руб.}$$

$$ЗМ \text{ всп.} = 0,75 + 0,63 + 390 = 391,38 \text{ руб.}$$

5.5 Расчет электроэнергии

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} = (24 * 120 / 0,9 * 60) * 3,84 = 204,8 \text{ руб.}$$

5.6 Расчет на использование спецоборудования, приспособлений и площадей

$$З_{об} = A_{об} + P_{м.р} = 1,32 + 6,2 = 7,52 \text{ руб.}$$

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * H_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} = (270000 * 20 * 2,69) / (1827 * 60 * 100) = 1,32 \text{ руб.}$$

$$P_{м.р} = \frac{Ц_{об} * H_{м.р} * k_3}{\Phi_{эф} * 100} = (270000 * 35 * 0,12) / (1827 * 100) = 6,2 \text{ руб.}$$

5.7 Расчет приспособлений

$$З_{присп} = \frac{Ц_{присп} * H_{присп} * t_{шт}}{T_{присп} * N_{пр} * 100} = (10000 * 12 * 2,69) / (5 * 5000 * 100) = 0,13$$

руб.

5.8 Расчет площадей

$$З_{площ} = \frac{Ц_{площ} * S_{площ} * На_{площ} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 100 * 60} = (15000 * 2,47 * 2 * 2,69) / (1827 * 1$$

00 * 60) = 0,02 руб.

5.9 Расчет зарплаты

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{дон} = 102,8 + 14,4 = 117,2 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн} = C_{ч} * t_{шт} * k_{зпл} = 21 * 2,69 * 1,82 = 102,8 \text{ руб./час}$$

$$k_{зпл} = k_{пр} * k_{вн} * k_{у} * k_{нф} * k_{н} = 1,25 * 1,1 * 1,1 * 1,067 * 1,133 = 1,82$$

$$ЗПЛ_{дон} = \frac{k_{д}}{100} * ЗПЛ_{осн} = 0,14 * 102,8 = 14,4 \text{ руб./час}$$

$$O_{с.н.} = \frac{H_{соц} * \Phi ЗП}{100} = (30 * 117,2) / 100 = 35,16 \text{ руб.}$$

5.10 Себестоимость ротора технологическая

$$C_{тех} = ЗМ + З_{э-э} + З_{присп} + З_{площ} + \Phi ЗП + O_{с.н} =$$

$$= 577,13 + 204,8 + 0,13 + 0,02 + 117,2 + 35,16 = 934,44 \text{ руб.}$$

5.11 Цеховая себестоимость ротора

$$C_{цех} = C_{тех} + P_{цех} = 934,44 + 257 = 1191,44 \text{ руб.}$$

$$P_{цех} = k_{цех} * ЗПЛ_{осн.} = 2,5 * 102,8 = 257 \text{ руб.}$$

5.12 Заводская себестоимость ротора

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав} = 1191,44 + 185,04 = 1376,48 \text{ руб.}$$

$$P_{зав} = k_{зав} * ЗПЛ_{осн} = 1,8 * 102,8 = 185,04 \text{ руб.}$$

5.13 Полная себестоимость ротора

$$C_{полн} = C_{зав} + P_{вн} = 1376,48 + 68,82 = 1445,3 \text{ руб.}$$

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{зав} = 0,05 \cdot 1376,48 = 68,82 \text{ руб.}$$

Таблица 5.5 – Расчет стоимости ротора

Пункты	Рублей
Материалы основные	185,75
Материалы вспомогательные	391,38
Электричество	204,8
Расход на оборудование	7,52
Расход на приспособления	0,13
Расход на площадь	0,02
Основная зарплата	102,8
Дополнительная зарплата	14,4
Страхование	35,16
Техн. себестоимость	934,44
Цех. себестоимость	1191,44
Зав. себестоимость	1376,48
Внепроизв. траты	68,82
Полная себестоимость	1445,3

5.14 Выводы по разделу

В данном разделе была рассчитана себестоимость выполнения научно-исследовательской работы, рассчитаны капитальные вложения в оборудование, необходимое для проведения исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы был разработан технологический процесс изготовления ротора. Получилось улучшить качество паяного соединения. Данный способ безопасен, экологичен, не дорог, не требует высокой квалификации рабочего и обеспечивает получение качественных паяных соединений.

Выявлены опасные производственные факторы и способы их устранения.

Рассчитали полную себестоимость изделия.

Данная технология изготовления ротора принесет определенную пользу в машиностроительный сектор по изготовлению экспериментальных конструкций, но необходимо проводить дальнейшие исследования в данной области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Краснопевцев А.Ю., Сафонов М.В., Краснопевцева Е.А., Мальцев С.А. Математические модели зависимости качества соединений от технологических факторов при пайке в парах цинка [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-zavisimosti-kachestva-soedineniy-ot-tehnologicheskikh-faktorov-pri-payke-v-parah-tsinka>
2. Краснопевцев А.Ю., Краснопевцева Е.А. Температурные интервалы активности веществ, применяемых в качестве активаторов [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturnye-intervaly-aktivnosti-veschestv-primenyaemyh-v-kachestve-aktivatorov>
3. Тебякин А.В., Фоканов А.Н., Подуражная В.Ф. Многофункциональные медные сплавы [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnye-mednye-splavy>
4. Краснопевцева И. В. Экономика и управление машиностроительным производством [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / И. В. Краснопевцева, Н. В. Зубкова ; ТГУ ; Ин-т финансов, экономики и управления ; каф. "Торговое дело и управление производством". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 183 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/13>
5. Сварка, пайка и резка металлов. К. К. Хренов. К.-М.: Машгиз, 1952., 384 с.
6. Лоцманов С. Н. Руководство по пайке металлов (подготовлено комитетом пайки американского общества сварщиков) М.: Оборонгиз, 1960., 191 с.

7. Марочник сталей и сплавов [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <http://www.stalinvest.ru/spravochnik-metalloprokata/marochnik-stalej-i-splavov/>

8. Краснопевцев А.Ю. Высокотемпературная контейнерная пайка в автостроении / Автотракторное электрооборудование. - 2004 - №10. - С. 33-35.

9. Краснопевцев А.Ю., Козина Л.Н., Краснопевцева Е.А., Мальцев С.А. Влияние пайки на здоровье человека [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-payki-na-zdorovie-cheloveka>

10. Лашко С.В. Пайка металлов / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. – М.: Машиностроение, 1989. – 244 с.

11. ред. Лоцманов, С.Н. Руководство по пайке металлов; Оборонгиз - М., 2016. - 191 с.

12. Пайка: опыт, искусство, наука. В 2-х кн.; РГГУ - Москва, 2016. - 240 с.

13. Краснопевцев А.Ю., Козина Л.Н., Краснопевцева Е.А., Мальцев С.А. Переход к бесфлюсовой пайке и отказ от свинецсодержащих припоев: положительные и отрицательные стороны [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perehod-k-besflyusovoy-payke-i-otkaz-ot-svinetssoderzhaschih-pripoev-polozhitelnye-i-otritsatelnye-storony>

14. Перевезенцев Б.Н., Курмаев М.Н., Соцков В.В. Оценка влияния технологических параметров процесса пайки меди припоями на основе олова на температурный уровень работоспособности паяных соединений [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-tehnologicheskikh-parametrov->

[protssessa-payki-medi-pripoyami-na-osnove-olova-na-temperaturnyy-uroven-rabotosposobnosti](#)

15. Брусницын С.В., Ивкин М.О. Проблемы производства изделий из свинцовых латуней [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-proizvodstva-izdeliy-iz-svintsovyh-latuney>

16. Смирнов С.В., Пугачева Н.Б., Мясникова М.В., Матафонов П.П., Полковников Т.В. Микромеханика разрушения и деформации латуни [Электронный ресурс]. – М., [2018]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikromekhanika-razrusheniya-i-deformatsii-latuni>

17. Межотраслевые правила по охране труда при проведении работ по пайке и лужению изделий. ПОТ Р М-022-2002; НЦ ЭНАС - М., 2014. - 938 с.

18. ГОСТ. Сварка, пайка и термическая резка металлов. Сборник гостов. Часть 1.; Стандартов - М., 2013. - 288 с.

19. Родионов Д.С. Технология и оборудование для пайки ротора ДВС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/4491/1/Родионов%20Д.С.%20МСб%201302.pdf>

20. Рудаков Д.Е. Исследование и разработка технологии пайки узлов двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/4495/1/Рудаков%20Д.Е.%20МСб-1302.pdf>

21. Rotary engine [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rotaryengine.com/enginebuilding.html#top>

22. Britannica [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.britannica.com/technology/rotary-engine>

23. National speed inc [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nationalspeedinc.com/advantages-and-disadvantages-of-a-rotary-engine/>

24. Avtoz [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://avtoz.net/the-principle-of-operation-of-the-rotary-engine/>

25. How a car works [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.howacarworks.com/technology/how-a-rotary-wankel-engine-works>

26. Технология роторно-поршневых двигателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://carguts.ru/articles/wankel/>