

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 Технологический процесс сборки-пайки рабочего колеса
компрессора из стали 07Х16Н6

Студент

Л.В. Сироткин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Федоров

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

Тольятти 2022

Аннотация

Объектом исследования является разработка технологического процесса пайки рабочего колеса центробежного компрессора.

Цель работы – удешевление производства колеса компрессора.

Достижение поставленной цели осуществлялось путём решения следующих задач:

- найден из перечня выпускаемых промышленностью припоев припой подешевле;
- для нового припоя разработан технологический процесс пайки;
- оценены предлагаемые технологические решения на предмет экологической безопасности и охраны труда, предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды;
- выполнены экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе.

По результатам исследований разработан технологический процесс вакуумной пайки колеса из хромоникелевого сплава 07X16Н6 аморфным припоем СТЕМЕТ 1301.

Данный технологический процесс позволяет паять изделие при температурах, близких к температуре плавления припоя, что обеспечивает хорошие пластические свойства паяных соединений.

Содержание

Введение.....	4
1. Анализ содержания научно-исследовательских работ	6
1.1 Общие сведения о конструкции применяемых в промышленности компрессоров	6
1.2 Характеристика применяемого припоя	9
1.3 Анализ применяемого технологического процесса пайки	10
1.4 Задачи работы.....	16
2 Проектная технология пайки	17
2.1. Анализ возможности применения припоя подешевле	17
2.2 Технологический процесс пайки	20
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы.....	22
3.1 Технологическая характеристика объекта	22
3.2 Идентификация профессиональных рисков.....	24
3.3 Меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов.....	25
3.4 Пожарная безопасность на производстве	27
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии	29
4 Экономическая эффективность проекта.....	32
4.1 Информация для проведения экономических расчетов.....	32
4.2 Расчет объемов фонда времени	33
4.3 Определение количества потребного оборудования.....	35
4.4 Определение расчетным путем технологической себестоимости.	37
4.5 Определение расчетным путем цеховой себестоимости	42
4.6 Определение расчетным путем заводской себестоимости	43
4.7 Расчет экономической эффективности проекта.....	44
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	48

Введение

Машины, функциональное назначение которых перемещение жидкостей и газов и повышения их потенциальной и кинетической энергии называются компрессорами. Впервые центробежный принцип в работе компрессора предложил и реализовал инженер Ледемуром (Франция) в 1732 г. Он разработал центробежный водоподъемник.

В России производство центробежных компрессоров началось на Невском машиностроительном заводе.

Нашли применение для соединения торцевых частей лопаток и внутренней части покрывного диска технологические операции клепки и сварки. К недостаткам операций клепки и сварки следует отнести слабые показатели по качеству сварных и клепаных соединений деталей лопаток.

На производстве нашел применение вариант фрезеровки основного и покрывного дисков рабочего колеса компрессора. Причем изготовление лопаток выполняют штамповкой. Следующий этап технологического процесса - сварка торцевых частей лопаток с внутренней поверхностью покрывного диска. Минусы указанного способа малая степень надежности сварных швов, по причине возникновения сварочных напряжений в области высоких рабочих напряжений.

На производстве нашел применение вариант соединения лопаток сваркой при наложении сварных швов применяют прорези в покрывном диске. Также как и в ранее рассмотренном варианте сварки анализируемый вариант сварки характеризуется такими минусами, как высокие остаточные напряжения в месте выполнения сварного шва.

Пайка - образование соединения путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, их смачивание припоем, затекании в зазор и последующей ее кристаллизацией [2]. Преимущества пайки от сварки: меньше остаточные напряжения, меньше изменяется свойства материалов, возможность групповых соединений, соединение разнотолщинных деталей, соединение

разнородных материалов, получение соединений по площади, пайка в труднодоступных местах.

Поэтому совершенствование технологий пайки лопаток является актуальным. В частности, применяемый на предприятии технологический процесс предусматривает вакуумную пайку колеса компрессора из хромоникелевого сплава 07Х16Н6. Применяется припой на основе палладия ПЖК-1000. Данный припой характеризуется своей высокой стоимостью по причине содержания в нем палладия в количестве 47%. Палладий относится к дорогостоящим веществам, один грамм его стоит почти 4000 рублей. Поэтому поиск варианта припоя подешевле, чем припой на основе палладия является актуальным.

Цель настоящей работы удешевление производства колеса компрессора.

1. Анализ содержания научно-исследовательских работ

1.1 Общие сведения о конструкции применяемых в промышленности компрессоров

В производственном цикле предприятий химической промышленности нашли применение различного рода компрессоры. Некоторые из них работают в очень жестких условиях. Например, компрессор 43ВЦ-160/9. При производительности 160 м³/мин, он на выходе обеспечивает давление 8,8 атмосфер. Частота оборотов ротора данного компрессора может достигать 30000 оборотов в минуту. Таким образом ротор работает в условиях больших механических нагрузок и на него еще воздействует агрессивная перекачиваемая среда. Поэтому ротор выполнен из высоколегированной стали аустенитно-мартенситного класса 07X17H6 ГОСТ 5632-72. Химический состав данного материала отражен в таблице 1.

Для технологии изготовления рабочих колес компрессора применяется пайка. Преимущества пайки от сварки: меньше остаточные напряжения, меньше изменяется свойства материалов, возможность групповых соединений, соединение разнотолщинных деталей, соединение разнородных материалов, получение соединений по площади, пайка в труднодоступных местах.

Таблица 1 - Химический состав в % материала 07X16H6

Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Сера	Фосфор	Хром
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
0.05 - 0.09	до 0.8	до 0.8	5 - 8	до 0.02	до 0.035	15.5 - 17.5

Применяемые в настоящее время компрессоры имеют многомодульную структуру, рисунок 1.



Рисунок 1 – Многоступенчатый компрессор

В состав многомодульного компрессора входит ротор, из опорных частей он поддерживается двумя опорными подшипниками. Подшипники относятся к категории скольжения. На ротор насаживают несколько (в зависимости от количества модулей) рабочих колес. Корпус каждого модуля - литой, с внутренним перепуском воздуха из ступени в ступень в пределах модуля, а из модуля в модуль - с внешним перепуском. Роторы изготовлены из высоколегированной стали. Рабочие колеса насажены "спина к спине", что уравнивает осевые силы от газодинамических перегрузок

«Основными элементами центробежного компрессора, рисунок 2, являются: рабочее колесо 1 с лопатками 2 и диффузор (кольцевой отвод) . Перекачиваемая компрессором среда при вращении колеса получает вращательное движение. Под действием центробежной силы перекачиваемая

среда перемещается к периферийной зоне колеса. Затем она попадает в диффузор, площадь которого возрастает с увеличением радиуса, скорость газа снижается, а давление увеличивается. Для повышения эффективности работы диффузора по превращению кинетической энергии в потенциальную предназначены лопатки, упорядочивающие движение газа» [31].

«При вращении рабочего колеса в зонах, расположенных у оси вращения, давление газа уменьшается по сравнению с давлением во всасывающем трубопроводе за счет чего образуется непрерывный поток, перемещающийся через проточную часть колеса» [3].

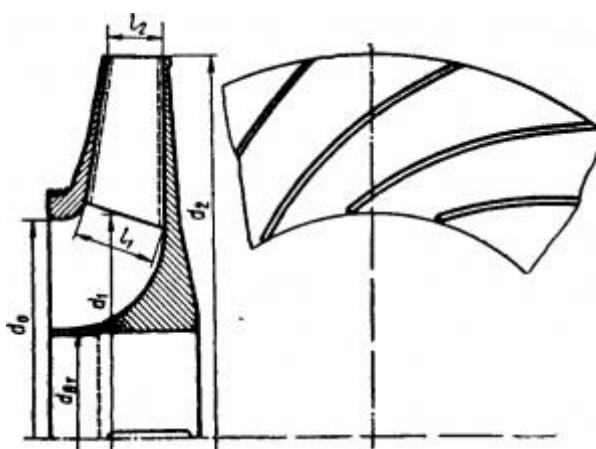


Рисунок 2 – Рабочее колесо компрессора.

Механические свойства материала 07X16H6, показаны в таблице 2.

Таблица 2 - Механические свойства при T=20°C материала 07X16H6

Сортамент	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Твердость, НВ
-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	МПа
Поковки	1176	980	12	50	700	341 - 415

Обозначения в таблице следующие: σ_T - предел текучести; σ_B - предел кратковременной прочности; δ_5 - относительное удлинение при разрыве; ψ -

относительное сужение при разрыве; КСУ – ударная вязкость; НВ – твердость по бринеллю.

1.2 Характеристика применяемого припоя

Применяется для пайки припой ПЖК-1000. «Его широко применяют при изготовлении ответственных узлов в различных отраслях машиностроения при пайке соединений жаропрочных и коррозионно-стойких сплавов и обеспечивает он высокие механические и коррозионно-стойкие свойства при высоких температурах и в контакте с агрессивными средами» [9].

«Палладий ($T_{пл} = 1555 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и его сплавы применяются, прежде всего для пайки тугоплавких металлов и сплавов, например таких, как молибден, вольфрам, ниобий, платина. Сплавы палладия с никелем, кобальтом, хромом, серебром, золотом применяются для пайки жаропрочных сплавов и сталей. Палладиевые припои применяются также для пайки изделий из высокотемпературной керамики с тугоплавкими металлами, например ниобием, танталом, молибденом, вольфрамом. Сплавы палладия с серебром и золотом используются для пайки конструкций из палладия (мембраны для очистки водорода). Палладий, вводимый в качестве компонента высокотемпературных припоев, значительно повышает их коррозионную стойкость, пластичность, а также способность растекаться и смачивать паяемую поверхность» [11].

«Добавка палладия в припои приводит к снижению их способности проникать в паяемый материал и разъедать его. т.е. возможности возникновения контактной эрозии, что позволяет проводить пайку тонкостенных изделий. В качестве припоев применяют как двойные сплавы системы серебро-палладий, обладающие высокой пластичностью, так и многокомпонентные припои, в состав которых входят серебро, медь, никель, марганец и другие металлы» [12].

Для уменьшения температуры плавления применяют троственную систему палладий-серебро-медь. В некоторых случаях в систему добавляют

литий и бор. Добавка лития и бора способствует лучшему растеканию припоя и придает ему самофлюсующие свойства.

Припои системы серебро-палладий-медь обеспечивают возможность эксплуатации паяных соединений при температурах, приближающихся к 500 °С. Причем эксплуатация изделия происходит в вакууме. Припои, предназначенные для пайки жаростойких сплавов, должны обладать большей высокотемпературной прочностью и сопротивлением ползучести, и изготавливаются на основе систем Ag-Pd-Mn, Ni-Mn-Pd, Cu-Pd-Ni-Mn и Pd-Ni.

«Припой ПЖК-1000 нашел применение при изготовлении ответственных узлов в различных отраслях машиностроения при пайке соединений жаропрочных и коррозионно-стойких сплавов и обеспечивает высокие механические и коррозионно-стойкие свойства при высоких температурах и в контакте с агрессивными средами» [9].

1.3 Анализ применяемого технологического процесса пайки

Для пайки лопаток с основным диском из выше приведенной стали разработана технология пайки в состав которой входят следующие операции. Зачистка диска и технологических деталей от масла и других загрязнений. Затем выполняется обезжиривание. Диски и технологические детали протираются ацетоном или бензином “Колоша”, рисунок 3.

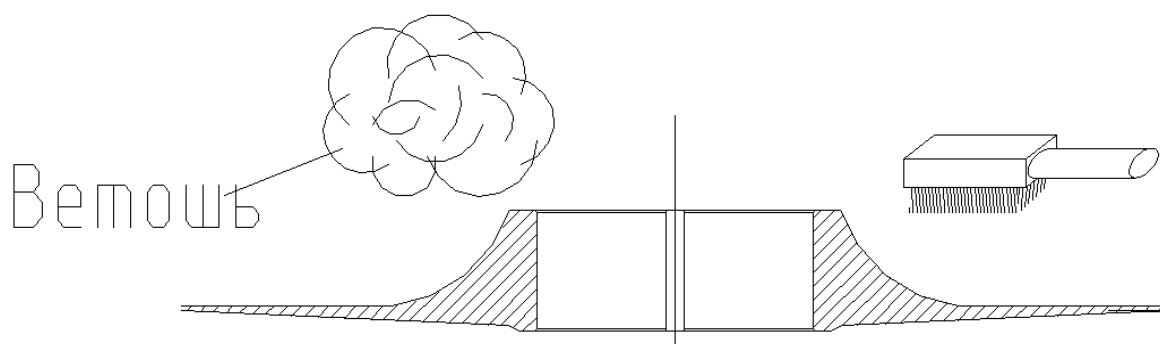


Рисунок 3 – Подготовка деталей.

Следующая операция сборка. В качестве оборудования применяется оправка, струбцина. Необходимо перед выполнением операции сборки нанести контрольные риски на диске. Затем собрать диски, совместить риски, сжать винтовой стяжкой, щупом проверить зазор между торцами лопаток и внутренней поверхностью покрывного диска, зазор не должен быть более чем 0,08 мм, рисунок 4. Снять покрывной диск, снять винтовую стяжку нанести мелом, где зазор превышает указанную величину.

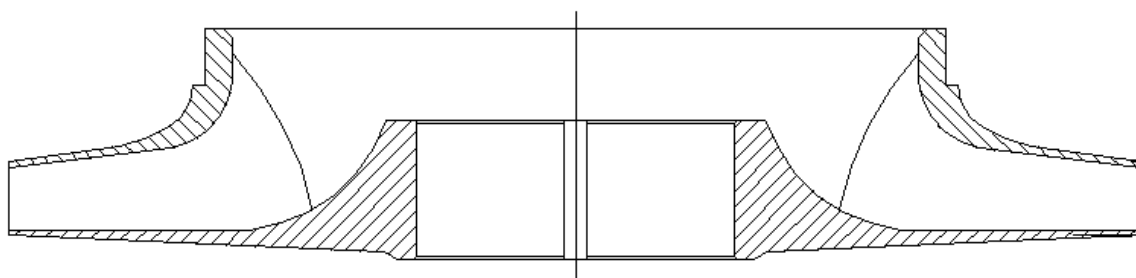


Рисунок 4 – Собранный диск

Следующая операция слесарная. В качестве инструмента применяется напильник. С его помощью необходимо устранить причину вызывающую увеличение зазора. Прогнать лопатки по торцам напильником. Повторить операцию сборки.

Затем выполняется обезжиривание. Применяются такие вспомогательные материалы как спирт, бязь. Протереть бязью смоченной в спирте поверхность основного и покрывного дисков и оснастку. На чистой бязи не должны оставаться следы грязи.

Следующая операция касается разметки припоя. Необходимо разметить полосы припоя шириной 10мм; шириной 4мм длиной согласно чертежу.

Теперь по разметке необходимо подготовить припой. Резать полосы припоя по разметке ширина 10 длиной $L=8,4$ м ширина 4мм длина $L=16,8$ м. Промыть в ацетоне, протереть бязью смоченной в спирте. Применяется

инструмент - ножницы. В качестве вспомогательного материала используем бязь, ацетон, спирт.

Теперь необходимо закрепить припой контактной сваркой. Оборудование-машина сварочная ТКМ-7, рисунок 5.



Рисунок 5 – Машина ТКМ-7.

Номинальная мощность машины 200 Вт. Пределы регулирования емкостей конденсатора, 10...140 мкФ.

Закрепить последовательно односторонней точечной сваркой полосы припоя шириной 4мм по боковой поверхности лопаток с двух сторон контактируемых с диском покрывной поверхности. Уложить полосы припоя шириной 10мм на торцы лопаток, контактируемые с поверхностью диска покрывного шаг точек 15мм всего 860 точек. Применение припоя на контактной поверхности лопаток толщиной 0,1мм не допускается.

Следующая операция технологического процесса получения соединения - сборка. Применяется такой инструмент как струбцина, винтовая стяжка. Необходимо собрать диски на оправке; центровать; стянуть винтовой стяжкой; совместить при сборке риски. Проверить величину зазора между дисками и припоем на лопатках. При увеличении зазора разобрать приспособление устранить причину. Вновь собрать на оправке диски; стянуть винтовой стяжкой диски; проверить зазор. Сжать диски струбцинами по наружному диаметру; контролировать зазоры между припоем и диском покрывным. Изготовить технологические планки; количество четыре на одну штуку. Прихватить по наружному диаметру технологические планки размером 35·30·7 в количестве 28 штук. Материал планок 14X16Н6 общее количество прихваток 56 штук ручной аргонодуговой сваркой. Установить технологические планки по горловине после снятия винтовой стяжки количество прихваток 18 штук ручной аргонодуговой сваркой размеры 30·100·7 6-8 штук материал 14X16Н6 установить в местах расположения лопаток. Размеры планок, количество уточнить при сборке. Технологические планки прихватить по припуску на колесе.

Затем посредством такого оборудования как ТКМ-7. Закрепить по наружному диаметру диска покрывного полосу припоя свидетеля размером 17·17. Прихватить к дискам образцы – свидетели, каждый в четыре местах ручной аргонодуговой сваркой; Св- 07X16Н6.

Дальнейшая операция - пайка. Выполняется загрузка в печь, рисунок 6. Оборудование печь СВШ-8.12/13. Технические характеристики печи мощность

300 кВт, температура 1300°C. Габариты рабочего пространства диаметр 0,8 метра, высота 1,2 метра. Вес печи 16 тонн.



Рисунок 6 – Печь СВШ-8.12/13.

При загрузке колеса в печь диск покрывной должен находиться вверху.
Расположить припой – свидетель относительно гляделки печи.

Подготовить печь к пайке. Герметизировать. Создать вакуум $P_{ост} = 5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт ст.

Включить нагрев. При температуре 950°C выдерживать в печи 40 – 60 минут; при температуре 1150 – 1170°C выдерживать 20 – 30 минут далее греть до температуры пайки 1250°C. По достижении температуры пайки выдержать в течение трех минут. Припой ПЖК – 1000. Отключить нагрев печи.

Следующая операция технологического процесса получения соединения - охлаждение. Охлаждать колесо вместе с печью до температуры 200°C в вакууме.

Затем печь разгерметизируется и готовое изделие извлекается из печи.

С помощью шлифмашинки удаляются технологические детали и колесо передается на операции контроля.

Первая операция – визуально измерительный контроль. Применяемый инструмент лупа, лампа, зеркало. Контролируются паяные швы: трещины, непропаи в места пайки не допускается.

Затем выполняется маркировка путем клеймения молотком, набор клейм, рисунок 7.



Рисунок 7 – Набор клейм

Следующий этап технологического процесса термическая обработка. В качестве оборудования применяется печь камерная ПКМ 12.20.12/11М. В течение 1 часа при температуре 350-400°C выполняется отпуск изделия. Затем происходит зачистка от припоя свидетеля, после чего идет операция балансировки.

Применяемое оборудование стенд РВ – 453. Затем на стенде для прочностных испытаний колес СПИКО выполняется разгон колеса до нужных значений.

И завершающая операция - контроль качества выполняется цветная дефектоскопия.

Электропечь СШВ-8.12/13 представляет из себя шахтную вакуумную электропечью сопротивления. Электропечь снабжена металлическими

нагревателями и теплоизоляцией в виде экранов. Для исполняемых печью команд предназначены щиты управления. В электрической схеме предусмотрены блокировки, для исключения операторами неправильных действий. На случай исключения подачи воды или электричества предусмотрена сигнализация.

Нагреватель печи выполнен согласно схемы «треугольник».

Вакуумная система выполнена из пароструйного насоса АВС-ЭП. Ротационных насосов Н-20Т-У. Контроль давления выполняется вакуумметром ВИТ-3, укомплектованным преобразователями ПМТ-2 и ПМИ-2.

Печь снабжена системой управления со щита, или вручную – путем включения каждого элемента на месте его установки.

Для удаления влаги из воздуха поступающего в электропечь атмосферный воздух по окончании процесса пайки подается в объем печи через фильтр с силикагелем.

1.4 Задачи работы

Цель настоящей работы удешевление производства колеса компрессора. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- найти из перечня выпускаемых промышленностью припоев припой подешевле;
- для нового припоя разработать технологический процесс пайки;
- необходимо будет оценить предлагаемые технологические решения на предмет экологической безопасности и охраны труда, предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды;
- предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий.

2 Проектная технология пайки

2.1 Анализ возможности применения припоя подешевле

«При высокотемпературной пайке углеродистых, низколегированных и высокоуглеродистых сталей обычно используют припои на основе серебра, железа, меди или никеля [6,10], температура плавления которых 800...1150⁰C» [8].

«Для высокотемпературной пайки коррозионно-стойких сталей применяют серебряные, медные, никелевые припои, а также припои систем Cu-Ni-Si, Ni-Cr-Mn, Cu-Mn-Ni, Ni-P. Серебро обладает уникальными свойствами, позволяющими осуществлять высококачественную пайку припоями на его основе при температурах ниже рекристаллизации углеродистых и высоколегированных сталей. Чистое серебро в качестве припоя применяется редко. Чтобы уменьшить количество серебра в припое и снизить температуру пайки, используют многокомпонентные серебряные припои, прежде всего систем Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Sn, Ag-Cu-P, Ag-Cu-Mn, Ag-Cu-Li и др. Однако, из-за высокой стоимости серебра применение данных припоев ограничено. Запасы цветных металлов истощаются, и важной задачей является экономия серебра» [8].

«При пайке сталей иногда используют чугуны или другие припои на основе железа (системы Fe-Mn-C, Fe-Cr-Si-B, Fe-Mn-Cu-Ni-C-B-Si, Fe-Cr-Ni-B и др.). Основным недостатком этих припоев - высокая (1150- 1250⁰C) температура пайки, что ведёт к опасности пережога, большому расходу электроэнергии и высоким требованиям к материалам нагревателей и применяемой оснастки» [12].

Для пайки сталей применяют припои на основе меди. К плюсам указанных припоев следует отнести хорошие технологические свойства и отсутствие дефицитных элементов. Самый распространённый в промышленности технологический процесс высокотемпературной

бесфлюсовой пайки сталей - пайка чистой медью в печах с восстановительной атмосферой.

Для снижения температуры пайки и повышения прочности применяют в качестве припоев сплавы меди. Это медно-цинковые припои - латуни и припои систем Cu-Mn-Ni-Ag, Cu-Mn-Ni-Si-Fe-Co, Cu-Mn, Cu-Ni, Cu-Mn-Ni, Cu-Ni-Si-Fe, Cu-Mn-Ni-Fe с добавками В, Li, Zn, P, K, Na, Al и др.

«По диаграмме состояния, медь с никелем образует ряд твёрдых растворов. Для увеличения жаростойкости, прочности при повышенных температурах в медно-никелевые припои вводят хром, марганец, железо, кремний и алюминий» [10]. При пайке в среде нейтральных газов или вакууме не происходит заметного растворения основного металла, что позволяет паять припоями Cu-Ni тонкостенные изделия.

«Механические свойства сплавов Cu-Mn из-за распада α -фазы с течением времени меняются, поэтому двойные сплавы редко применяются, в основном для пайки нержавеющей сталей. В тройных сплавах распад α -фазы происходит намного медленнее. Учитывая, что никель способствует снижению окисляемости припоев в жидком состоянии и улучшению смачиваемости ими поверхности коррозионно-стойких сталей для основы припоев более пригодны сплавы Cu-Mn-Ni» [7].

«Сплавы меди, содержащие фосфор в количестве 4-9%, имеют высокую жидкотекучесть и сравнительно низкую температуру плавления. Так, эвтектический сплав, содержащий 8,25% фосфора, плавится при 707^oC. Для снижения температуры плавления и увеличения пластичности в эвтектический сплав меди с фосфором вводят олово и цинк. Однако, применение для пайки сталей меднофосфорных припоев ограничено изделиями, не подверженными вибрационным нагрузкам из-за образования в паяном шве фосфидов железа, приводящих к потере пластичности, охрупчиванию соединения» [5].

В отдельных случаях, можно получить пластичное соединение, нанося на паяемые поверхности стального изделия барьерные покрытия, например, гальваническим путём (никелирование, меднение) [10].

Сплавы системы Cu-Zn (латуни) широко применяются в качестве припоев для пайки сталей. Механические характеристики латуней существенно зависят от содержания цинка [5]. «С увеличением содержания цинка до 30-32% возрастают и прочность и пластичность латуней. Дальнейшее увеличение содержания цинка снижает пластичность, а при содержании цинка свыше 45% снижается и прочность, из-за большого количества β - и особенно γ -фазы. Поэтому наиболее широко распространёнными двухкомпонентными латунными припоями являются Л63 и Л68. Применение припоев с большим содержанием цинка, таких как ПМЦ54, ПМЦ48, ПМЦ36, ограничено пайкой изделий, не подвергающихся ударным нагрузкам, изгибу и вибрации» [5].

«Вводя в двухкомпонентные латуни различные легирующие добавки, можно расширить технологические возможности применения медно-цинковых припоев и номенклатуру паяемых материалов. Добавки алюминия, марганца, железа, никеля улучшают механические свойства латуней и их теплостойкость [7,10]. Латуни, содержащие незначительные добавки олова и кремния, имеют лучшие технологические свойства и обеспечивают более высокую плотность и герметичность шва» [10].

Применяемый припой известен давно. За это время появились так называемые аморфные припои. Применив, например, припой СТЕМЕТ 1301 (ТУ 1842-031-13293050-02) системы никель-хром-железо-кремний-бор, можно значительно повысить прочность паяных соединений. Так Предел прочности на отрыв для сталей типа 0X16H15M3B (AISI 316) до 56 кг/мм² (при оптимальных условиях пайки).

Припой СТЕМЕТ 1301 предназначен для пайки сталей различного назначения и никелевых сплавов в вакууме или атмосфере водорода, аргона,

Рекомендуемая температура пайки припоем СТЕМЕТ 1301 - 1200-1210 °С. Время пайки 5-15 мин. Оптимальный паяльный зазор 0,025-0,05 мм, максимальный - до 0,1 мм.

2.2 Технологический процесс пайки

Разработанная технология пайки припоем СТЕМЕТ 1301 осуществляется в печи СВШ-8.12/13. При загрузке колеса в печь диск покрывной должен находиться вверху.

Расположить припой – свидетель относительно гляделки печи. Подготовить печь к пайке. Герметизировать. Создать вакуум $P_{ост} = 5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт ст.

Включить нагрев. При температуре 950°С выдерживать в печи 40 – 60 минут; при температуре 1150 – 1170°С выдерживать 20 – 30 минут далее греть до температуры пайки 1200°С. По достижении температуры пайки выдержать в течение трех минут.

С помощью шлифмашинки удаляются технологические детали и колесо передается на операции контроля.

Первая операция – визуально измерительный контроль. Применяемый инструмент лупа, лампа, зеркало. Контролируются паяные швы: трещины, непропаи в места пайки не допускается.

Следующий этап технологического процесса термическая обработка. В качестве оборудования применяется печь камерная ПКМ 12.20.12/11М. В течение 1 часа при температуре 350-400°С выполняется отпуск изделия. Максимальная температура, достигаемая в данной печи 1100°С. Затем происходит зачистка от припоя свидетеля, после чего идет операция балансировки. Применяемое оборудование стенд РВ – 453. Затем на стенде для прочностных испытаний колес СПИКО, рисунок 8 выполняется разгон колеса до нужных значений. Это составляет 25086 оборотов в минуту.



Рисунок 8 – Стенд для разгонных испытаний СПИКО

И завершающая операция - контроль качества выполняется цветная дефектоскопия. Используется набор для цветного контроля АЭРО 12А. В состав набора входит индикаторный пенетрант, проявитель и очиститель.

3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности пайки рабочего колеса компрессора.

При выполнении базовой технологии пайки в вакуумной печи предусматривается применение дорогостоящего припоя ПЖК. Основу которого составляет палладий. Проектная технология пайки колеса компрессора предусматривает применение припоя подешевле СТЕМЕТ 1301.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса: обезжиривание, сборка, слесарная, подготовка припоя, сборка диска, пайка диска и термообработка, визуальный контроль, механические испытания, контроль.

Изменение технологии пайки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала.

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 3.

Также анализ проектной технологии позволит выявить негативные факторы, влияние которых на атмосферу, гидросферу и литосферу следует устранить в рамках повышения экологической ответственности.

Таблица 3 – Технологический паспорт участка пайки

«Наименование операции технологического процесса»	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции» [15]
«обезжиривание	Слесарь-сборщик,	ванна для раствора	
сборка	Слесарь сборщик	дефектоскоп	Масло
слесарная	слесарь-сборщик,	стол сборочный, подъемный кран	Напильник
Подготовка припоя и резка	Слесарь сборщик	набор ножей	припой СТЕМЕТ 1301
Сборка диска	Слесарь-сборщик,	Электроды СШВ-8.12/13, подъемный кран	Специализированное приспособление
Пайка диска и термообработка	Термист,	Набор визуально-измерительного контроля	Ветошь
Механические испытания	слесарь-сборщик, токарь	Стенд для разгонных испытаний СПИКО	смазывающе-охлаждающая жидкость
контрольная	дефектоскопист	дефектоскоп	Комплект АЭРО12А

Технологический паспорт объекта – участка для проведения пайки – позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Дальнейшие работы будут направлены на идентификацию персональных рисков, для устранения которых будут предложены технологические и организационные мероприятия. Также будут предложены работы по обеспечению пожарной и экологической безопасности производства.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [15]
обезжиривание	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Ванна для раствора
сборка	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	стол
Пайка и термообработка	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов 	электропечь, подъёмный кран
Контрольные операции	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 	стол

На основании данных таблицы 4 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение
- ультразвуковое излучение.

В результате дальнейшего анализа перечисленных негативных факторов могут быть предложены стандартные решения, позволяющие уменьшить их влияние на работающий персонал до приемлемого уровня.

3.3 Меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов

Ранее были выделены опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают негативное воздействие на работающий персонал в ходе выполнения каждой операции проектного технологического процесса.

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [14], [15] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 5, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Таблица 5 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [15]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> - проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> - установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> - применение устройств защитного отключения электропитания оборудования; - применение защитного заземления и зануления оборудования; - контроль состояния защитных устройств и изоляции; - инструктаж по электробезопасности 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> - автоматизация технологических процессов; - инструктаж персонала 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультразвуковое излучение	- уменьшение времени негативного воздействия	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

Представленные в таблице технические средства и организационные мероприятия направлены на снижение травматизма работников производства и уровня профессиональных заболеваний.

Однако реализация проектной технологии не только сопровождается появлением опасных и вредных производственных факторов, но и риском образования пожаров, в результате которых могут пострадать как сами работники, так и имущество предприятия.

Исходя из этого, дальнейшие работы при выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы направим в сторону обеспечения пожарной безопасности.

3.4 Пожарная безопасность на производстве

Проектная технология, предложенная в настоящей выпускной квалификационной работе, является источником возникновения рисков образования пожара. Для устранения этих рисков следует предложить технические средства и организационные мероприятия. Также следует рассмотреть возможность устранения пожара, если он всё-таки возникнет на предприятии, несмотря на принятые меры.

В таблице 6 представлена идентификация факторов пожара.

В качестве основных негативных факторов возможного пожара следует отметить: повышение температуры вокруг источника возгорания, выделение в окружающую среду токсичных продуктов вследствие сгорания пластмасс, в зависимости от состава пластмассы, часть кислорода расходуется на обеспечение горения.

В качестве сопутствующих проявлений пожара следует отметить: негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок пайки	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [15]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 7 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [15]
Обработка напильником, получение припоя, загрузка в печь, термическая обработка визуальный контроль токарная обработка капиллярный контроль	«Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [15]	Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 8. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 8 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Мобильные средства для тушения	Стационарные системы и установки для тушения	Пожарная автоматика	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-15	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка оповещения о пожаре

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе мероприятия позволяют уменьшить риск возникновения пожара на предприятии при реализации проектной технологии.

3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

Реализация предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений не только приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, борьбе с которыми посвящена предыдущая часть раздела, но и вызывает негативное воздействие на окружающую среду. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 9.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 10.

Таблица 9 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Пайка	обезжиривание	-	Отходы растворителя	Стружка, частицы упаковки, бытовой мусор
	сборка	-	Отходы масла	частицы упаковки, бытовой мусор
	Пайка и термообработка	вредные испарения	-	частицы упаковки, бытовой мусор
	Контрольные операции	вредные испарения	-	Отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 10 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок восстановительной наплавки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [15]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [15]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [15]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Реализация проектной технологии приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых позволила предложить стандартные технические и организационные решения.

Идентификация опасных факторов пожара на рассматриваемом предприятии позволила предложить мероприятия и технические решения по устранению опасности возгорания. Также в настоящем разделе предложены средства борьбы с пожаром, если он все-таки произошёл несмотря на принятые меры.

В ходе выполнения экологического раздела установлено, что осуществление проектной технологии приводит к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. При этом страдают атмосфера, гидросфера и литосфера. Предлагаемые в работе мероприятия позволят соответствовать предприятию современной экологической повестке и свести к минимуму вред окружающей среде.

Все предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия являются стандартными и не требуют повышения эффективности за счёт разработки специализированных средств и методик.

4 Экономическая эффективность проекта

В работе выполнены технические решения обеспечивающие повышение эффективности пайки колеса компрессора.

При выполнении базовой технологии пайки колеса компрессора предусматривается применение припоя ПЖК-1000.

Проектная технология пайки колеса компрессора предусматривает применение припоя подешевле СТЕМЕТ 1301.

4.1 Информация для проведения экономических расчетов

Информация, которая нужна для экономической оценки эффективности применяемого на производстве варианта технологии и предлагаемого к внедрению варианта технологии, занесем в таблицу 11.

Таблица 11 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

№ п/п	Показатели	Усл. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
				Баз.	Проект.
1	2	3	4	5	6
1	«Количество паяных соединений колеса в течение года	Нпр	шт	1000	1000
2	Цена присадочного материала	Цэл	Руб/кг	30000	7000
3	Коеф. транспортно-заготовительных расходов	ктз	-	1,05	1,05
4	Расходы на один час отработанного времени паяльщика	Сч	Руб/час	74,89	53,16
5	Коеф. доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
6	Расходы на дополнительную заработную плату, выраженные через коэффициент	-	%	12	12
7	Расходы на социальные нужды, выраженные через коэффициент	-	%	30	30
9	Цена оборудования	Цоб	Руб	1450000	1450000
10	Амортизация оборудования	На	%	18	18

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6
11	Мощность установки	Му	кВт	6	6
12	Коэффициент полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,78
13	Стоимость электроэнергии	Цээ	Руб/кВт	1,79	1,79
14	Стоимость аренды площади	Сэкспл	Руб/м ²	1800	1800
15	Площадь занимаемая оборудованием	S	М ²	8	11
16	Расходы заводские, выраженные через коэффициент накладных расходов	Кзав		1,8	1,8
17	Расходы цеховые, выраженные через коэффициент накладных расходов	Кцех		2,50	2,50
18	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м ²	3000	3000
19	Нормативный коэф. экономической эффективности дополн. капит. вложений	Ен	-	0,33	0,33
20	Норма амортизационных отчислений на площадь» [17]	Напл	%	2	2

4.2 Расчет объемов фонда времени

Рассчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

В состав штучного времени $t_{шт}$ входит несколько слагаемых. Во-первых, это машинное время $t_{маш}$, которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Во-вторых, это вспомогательное время $t_{всп}$, которое затрачивается на выполнение подготовительных операций и задаётся как 10 % от машинного времени $t_{маш}$. В-третьих, это время обслуживания рабочего места $t_{обсл}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В-четвёртых, это время личного отдыха $t_{отд}$,

которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{\text{маш}}$. В пятых, это подготовительно-заключительное время $t_{\text{п-з}}$, которое задаётся как 1% от машинного времени $t_{\text{маш}}$. С учётом исходных данных расчёт штучного времени проводим, воспользовавшись формулой:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{п-з}} + t_0 + t_{\text{в}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{н.п}} \quad (1)$$

В состав машинного времени t_0 , входит несколько слагаемых это расходы времени на получение вакуума требуемой глубины, время на нагрев до температуры плавления припоя, расходы времени на выдержку, и расходы времени на охлаждение.

$$t_0 = t_{\text{вак}} + t_{\text{нагр}} + t_{\text{выд}} + t_{\text{охл}} \quad (2)$$

Время на достижение заданной глубины вакуума, $t_{\text{вакб}} = t_{\text{вакпр}} = 20$ мин.

В применяемом на производстве варианте технологии температура нагрева 750°C , в предлагаемом к внедрению 910°C .

Замер времени по секундомеру показал, что в применяемом на производстве варианте технологии $t_{\text{нагрб}} = 10$ мин, для предлагаемого к внедрению $t_{\text{нагрпр}} = 13$ мин.

Время выдержки $t_{\text{выдб}} = t_{\text{выдпр}} = 15$ мин.

Время охлаждения для применяемого на производстве варианта технологии $t_{\text{охлб}} = 30$ мин, для предлагаемого к внедрению $t_{\text{охлпр}} = 35$ мин.

Применяемый на производстве вариант технологии, машинное время:

$$t_{\text{об}} = 20 + 10 + 15 + 30 = 75 \text{ мин.} = 1,25 \text{ час.}$$

Предлагаемый к внедрению вариант:

$$t_{\text{опр}} = 20 + 13 + 15 + 35 = 83 \text{ мин.} = 1,38 \text{ час.}$$

Применяемый на производстве вариант технологии, тучное время:

$$t_{\text{штб}} = 75 + 7,5 + 3,25 + 0,75 + 0,03 = 86,53 \text{ мин.} = 1,44 \text{ час.}$$

Применяемый на производстве вариант технологии, тучное время:

$$t_{штпр} = 83 + 8,3 + 4,15 + 0,83 + 0,04 = 96,32 \text{ мин.} = 1,60 \text{ час.}$$

4.3 Определение количества потребного оборудования

Поскольку при применяемом на производстве варианте технологии и предлагаемом к внедрению варианте технологии используется одна и та же печь СВШ-8.12/13 не будем считать капитальные вложения в оборудование.

В календарном году принимается число рабочих дней $D_p = 277$ при стандартной продолжительности смены $T_{см} = 8$ часов. При расчётах следует учитывать сокращение длительности рабочей смены в предпраздничные дни на $T_{п} = 1$ час. Планируемое количество предпраздничных дней составляет $D_{пр} = 7$. С учётом вышеизложенного для количества смен $K_{см} = 1$ рассчитаем фонд времени, воспользовавшись формулой:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.п}) \quad (3)$$

$$\Phi_{эф.} = (365 - 110 - 14) * 8 * 1 * (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

Далее следует рассчитать величину эффективного фонда времени с учётом запланированных потерь рабочего времени $B = 7 \%$, воспользовавшись формулой:

$$F_э = F_n(1 - B/100). \quad (4)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.}$$

Для расчёта требуемого количества оборудования, которое необходимо при выполнении годовой программы с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$, воспользуемся формулой:

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot ПГ}{F_{\text{Э}} \cdot K_{ВН}} \quad (5)$$

где: $ПГ$ – программа выпуска изделий, шт.;

$t_{шт}$ – штучное время на изготовление одного изделия, мин.;

$F_{\text{Эф}}$ – эффективный фонд времени работы сварочного оборудования, час.

Для выполнения принятой $N_{пр}$ принимаем целое число единиц оборудования ($n_{об.прин}$).

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов $n = 1$. Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

$$k_3 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (6)$$

Выполнение операций согласно проектной и базовой технологий предусматривает использование материальных и людских ресурсов в течение определённого количества времени. В зависимости от затрачиваемого времени рассчитывается заработная плата персонала, который задействован при выполнении операций технологического процесса. Также затрачиваемое время влияет на величину расходов на амортизацию оборудования и производственные площади.

В настоящем разделе выполним расчёт фонда времени, который одинаков для проектного и базового вариантов технологического процесса, так как в обоих случаях технология выполняется за одинаковое число смен в сутках.

$$n_{об.расчетн.б} = \frac{1000 * 86,53}{1812 * 60} = 0,79 \text{ шт}$$

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{1000 * 96,32}{1812 * 60} = 0,88 \text{ шт}$$

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов $n = 1$. Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

$$k_{зб} = \frac{0,79}{1} = 0,79$$

$$k_{зпр} = \frac{0,88}{1} = 0,88$$

4.4 Определение расчетным путем технологической себестоимости.

Проведение операции высокотемпературной пайки требует затрат присадочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служит припой ПЖК-1000. При проектной технологии такими материалами служит припой стемет. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты M на материалы с учётом цены материалов C_m , нормы расхода материалов H_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов K_{tz} , воспользовавшись формулой:

$$3M = 3M_{всп} \quad (7)$$

Затраты на вспомогательные материалы

$$3M_{всп} = 3_{прип} + 3_{фл} \quad (8)$$

где $Z_{\text{ПРИП}}$ - затраты на припой для пайки, руб.;

$Z_{\text{ФЛ}}$ - затраты на флюс, материалы для обезжиривания, руб.

Базовый вариант, припой ПЖК-1000

Затраты на материалы для одной детали:

Стоимость припоя:

$$Z_{\text{ПРИП}} = N_{\text{ПД}} \cdot C_{\text{ПРИП}} \quad (9)$$

где $C_{\text{ПРИП}}$ - цена припоя за 1 кг, руб.

Норма расхода припоя на одну деталь:

$$N_{\text{ПД}} = Q_{\text{ПД}} \cdot \frac{100 + \alpha}{100} = 14,77 \cdot \frac{100 + 1,5}{100} = 14,99 \text{ г} \quad (10)$$

где $Q_{\text{ПД}}$ - масса припоя, наносимого на одну деталь при сборке под пайку, г;

α - % угара и безвозвратных потерь припоя при пайке.

$$\alpha \cdot Q_{\text{ПД}} = V_{\text{ПШ}} \cdot \rho \cdot \varphi = 0,0000012774 \cdot 9250000 \cdot 1,25 = 14,77 \text{ г} \quad (11)$$

где $V_{\text{ПШ}}$ - объем паяного шва;

ρ - плотность припоя, 9250 кг/м³;

φ - коэффициент, учитывающий увеличение расхода припоя на наплывы = 1,1...1,4 (без учета галтелей).

$$V_{\text{ПШ}} = V_{\text{ПШ1}} + V_{\text{ПШ2}} + V_{\text{ПШ3}} = 1277,4 \text{ мм}^3 = 0,0000012774 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{ПШ1}} = (3 \cdot 1) \cdot 4 \cdot 26 \cdot 37 \cdot 0,1 = 1154,4 \text{ мм}^3, \text{ (объем шва лопаток)}$$

$$V_{\text{ПШ2}} = (26 + 26 + 36 + 36) \cdot 6 \cdot 0,1 = 74,4 \text{ мм}^3, \text{ (объем шва на стенку)}$$

$$V_{\text{ПШ3}} = (171 + 315) \cdot 0,1 = 48,6 \text{ мм}^3, \text{ (объем паяемой части средней стенки)}$$

где $\delta = 0,1$ - величина сборочного зазора, мм.

$$Z_{\text{ВСП}} = Z_{\text{Ф}} + Z_{\text{МОБ}} = 12,51 + 7 = 19,51 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{МОБ}}$ - затраты на материалы для обезжиривания, руб.

Стоимость флюса:

$$Z_{\phi} = H_{\phi} \cdot C_{\phi} \quad (12)$$

где C_{ϕ} - цена флюса (ПВ209) за 1 кг, руб.

Норма расхода флюса на одну деталь:

$$H_{\phi} = S_{\text{ПШ}} \cdot P_{\text{УФ}} \quad (13)$$

где $S_{\text{ПШ}}$ - площадь паяного шва, м^2 ;

$P_{\text{УФ}}$ - удельный расход флюса, $\text{кг}/\text{м}^2$.

$$H_{\phi} = 0,012774 \cdot 1 = 0,012774 \text{ кг}$$

$$Z_{\phi} = 0,012774 \cdot 980 = 12,51 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ВСП}} = 12,51 + 7 = 19,51 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ПРИП}} = 0,01499 \cdot 30000 = 449,70 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{МВСПБ}} = 449,70 + 19,51 = 469,21 \text{ руб.}$$

Проектный вариант, припой СТЕМЕТ 1301, при одинаковом объеме паяного шва расход изменится, так как разная плотность, ρ - $8720 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Норма расхода припоя на одну деталь:

α - % угара и безвозвратных потерь припоя при пайке.

$$Q_{\text{ПД}} = V_{\text{ПШ}} \cdot \rho \cdot \varphi = 0,0000012774 \cdot 4720000 \cdot 1,25 = 7,53 \text{ г.}$$

$$H_{\text{ПД}} = Q_{\text{ПД}} \cdot \frac{100 + \alpha}{100} = 7,53 \cdot \frac{100 + 1,5}{100} = 7,64 \text{ г}$$

$$Z_{\text{ПРИП}} = 0,00764 \cdot 7000 = 53,48 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{МВСППР}} = 53,48 + 7 = 60,48 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{МБ}} = 113,50 + 469,21 = 582,71 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{МПР}} = 211,57 + 53,48 = 265,05 \text{ руб.}$$

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ рассчитываем с учётом амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчётах

воспользуемся формулой:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ} \quad (14)$$

Величину амортизационных отчислений определим с учётом нормы амортизации N_a , цены оборудования $C_{об}$ для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинного времени $t_{маш}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot t_{маш} \cdot N_a \cdot k_z}{\Phi_p \cdot 100} \quad (15)$$

$$A_{об}^Б = \frac{145000 \cdot 86,53 \cdot 14}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 15,97 \text{ руб.}$$

$$A_{об}^{ПР} = \frac{145000 \cdot 96,32 \cdot 14}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 17,98 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на электрическую энергию $Z_{э-э}$ выполняем с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст}=6$ кВт, цены электрической энергии для промышленных предприятий $C_{ээ}$ и коэффициента полезного действия КПД для рассчитанного выше штучного времени $t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_{шт}}{КПД} C_{ээ} \quad (16)$$

$$Z_{э-э}^Б = \frac{6 \cdot 1,25}{0,85} 2,2 = 19,41 \text{ руб.}$$

$$Z_{э-э}^{ПР} = \frac{6 \cdot 1,38}{0,85} 2,2 = 21,43 \text{ руб.}$$

В сумме, затраты на оборудование составят

$$З_{ОБ}^Б = 15,97 + 22,16 = 38,13 \text{ руб.}$$

$$З_{ОБ}^{ПР} = 17,98 + 24,64 = 42,62 \text{ руб.}$$

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы $З_{доп}$ и основной заработной платы $З_{осн}$

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛосн} + \text{ЗПЛдоп.} \quad (17)$$

Расчёт основной заработной платы $З_{осн}$ выполняем по ранее определённым величинам штучного времени $t_{шт}$, коэффициента доплат $k_{зпл}$ и часовой тарифной ставки $C_ч$. Для этого воспользуемся формулой:

$$\text{ЗПЛосн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot k_{зпл} \quad (18)$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^Б = 1,44 \cdot 53,16 \cdot 1,81 = 138,55 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^{ПР} = 1,60 \cdot 53,16 \cdot 1,81 = 153,95 \text{ руб.}$$

Расчёт дополнительной заработной платы $З_{доп}$ проводим с использованием ранее определённого значения основной заработной платы $З_{осн}$ для проектного и базового вариантов и с учётом коэффициента дополнительных доплат k_d . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\text{ЗПЛ}_{доп} = \frac{k_d}{100} \cdot \text{ЗПЛ}_{осн} \quad (19)$$

$$\text{ЗПЛ}_{доп}^Б = 138,55 \cdot 10/100 = 13,85 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПЛ}_{доп}^{ПР} = 153,90 \cdot 10/100 = 15,39 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗПб} = 138,55 + 13,85 = 152,40 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗПпр} = 153,90 + 15,39 = 169,29 \text{ руб.}$$

Величину отчислений на социальные нужды O_{CH} определяем с учётом ранее рассчитанного фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды K_{CH} . При расчётах воспользуемся формулой:

$$O_{CH} = \Phi ЗП \cdot K_{соц} / 100 \quad (20)$$

$$O_{CH}^B = 152,40 \cdot 30 / 100 = 45,72 \text{ руб.}$$

$$O_{CH}^{np} = 169,29 \cdot 30 / 100 = 50,79 \text{ руб.}$$

Величину технологической себестоимости $C_{тех}$ при выполнении производственного процесса по применяемой на производстве и предлагаемому к внедрению вариантам технологии определим как сумму затрат на материалы $ЗМ$, фонд заработной платы ФЗП, отчисления на социальные нужды O_{CH} и затраты на оборудование $З_{об}$. При выполнении расчётов используем зависимость:

$$C_{тех} = ЗМ + З_{э-э} + З_{об} + З_{пл} + \Phi ЗП + O_{CH} \quad (21)$$

$$C_{ТЕХ}^B = 582,71 + 19,41 + 38,13 + 0,47 + 152,40 + 45,72 = 838,84 \text{ руб.}$$

$$C_{ТЕХ}^{PP} = 265,05 + 21,43 + 42,62 + 0,53 + 169,29 + 50,79 = 549,61 \text{ руб.}$$

4.5 Определение расчетным путем цеховой себестоимости

Величину цеховой себестоимости $C_{цех}$ при выполнении производственного процесса по применяемой на производстве и предлагаемому к внедрению вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости $C_{тех}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{цех}$. При выполнении расчётов используем зависимость:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{цех}}; \quad (22)$$

$$C_{\text{ЦЕХ}}^B = 838,84 + 138,55 \cdot 2,5 = 838,84 + 346,37 = 1185,22 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{PP} = 549,61 + 153,95 \cdot 2,5 = 549,61 + 384,87 = 934,49 \text{ руб.}$$

4.6 Определение расчетным путем заводской себестоимости

Величину заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ при выполнении производственного процесса по применяемой на производстве и предлагаемому к внедрению вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}}$. При выполнении расчётов используем зависимость:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + K_{\text{зав}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (23)$$

$$C_{\text{ЗАВ}}^B = 1185,22 + 138,55 \cdot 1,8 = 1185,22 + 249,39 = 1434,61 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЗАВ}}^{PP} = 934,49 + 153,95 \cdot 1,8 = 934,49 + 277,11 = 1211,60 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости отражена в таблице 16.

Таблица 12 – Калькуляция себестоимости изготовления

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	Проект
1	2	3	4	5
1	«Затраты на вспомогательные материалы (припой)	М	582,71	265,05
2	Расходы на заработную плату основных производственных рабочих	ФЗП	152,40	169,29
3	Расходы на социальные нужды	Осн	45,72	50,79

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5
4	Расходы на оборудование посредством которого выполняется пайка колес.	Зоб	38,13	42,62
5	Затраты на площади на которых установлено оборудование	Зпл	0,47	0,53
6	Затраты на электроэнергию, требуемую для осуществления технологического процесса	Зэ-э	19,41	21,43
	Расчетные значения технологической себестоимости по изготовлению колес	Стех	838,84	549,61
7	Цеховые расходы		346,37	384,87
	Себестоимость цеховая	Сцех	1185,22	934,49
8	Заводские расходы		249,39	277,11
	Себестоимость заводская» [22]	Сзав	1434,61	1211,60

4.7 Расчет экономической эффективности проекта

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям:

- снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$;
- повышение производительности труда Π_T ;
- снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$;
- условно-годовая экономия $\Pi_{ок}$;
- срок окупаемости капитальных вложений $T_{ок}$;
- годовой экономический эффект \mathcal{E}_T .

Расчёт повышения производительности труда Π_T выполняется с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (24)$$

При подстановке исходных значений в формулу (26) повышение производительности труда составило:

$$P_T = 100 \cdot 80 / (100 - 80) = 40 \%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ выполняем с учётом ранее определённых технологической себестоимости по базовому варианту технологии $\Delta C_{\text{тех.б.}}$ и технологической себестоимости по проектному варианту технологии $\Delta C_{\text{тех.пр.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}}, \quad (25)$$

$$\Delta C_{\text{тех}} = (838,84 - 549,61) \cdot 100\% / 838,84 = 34\%,$$

За счёт совершенствования технологического процесса получено снижение себестоимости, которое рассчитывается по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по базовому варианту $t_{\text{шт.б.}}$ и по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по проектному варианту $t_{\text{шт.пр.}}$.

Расчёт условно-годовой экономии $P_{\text{ож}}$ выполним с учётом годовой программы P_T , заводской себестоимости по проектному варианту $C_{\text{зав.пр}}$ и заводской себестоимости по базовому варианту $C_{\text{зав.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав.б.}}^{\text{б.}} - C_{\text{зав.пр.}}^{\text{пр.}} \right) \cdot N_{\text{пр}} \quad (26)$$

Расчёт годового экономического эффекта \mathcal{E}_T при внедрении предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений выполняется с учётом рассчитанных ранее условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ и коэффициента эффективности капитальных вложений E_n . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\text{ПРож} = \text{Э}_{\text{УГ}} = (1434,61 - 1211,60) \cdot 1000 = 223010 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения более производительного оборудования считать не будем, так как в предлагаемом к применению процессе остается старое оборудование, печь СВШ-8.12/13.

Если вести сравнение с применяемым на предприятии вариантом технологии то трудоемкость, в проектном варианте повысилась на 11%. Это произошло потому что выбранный припой обладает более высокой температурой плавления. Следовательно, чтобы достичь температуры расплавления припоя нам придется затратить больший промежуток времени.

Однако предлагаемый к применению припой обладает меньшей стоимостью, почти в 8 раз, получаем снижение себестоимости заводской на 15% и ожидаемая прибыль составит 223010 руб.

Заключение

Применяемый на предприятии технологический процесс пайки рабочих колес компрессора характеризуется высокой стоимостью вспомогательных материалов. Припой ПЖК-1000 из-за высокой стоимости палладия относится к дорогостоящим. В работе разработан технологический процесс пайки колес компрессора припоем СТЕМЕТ 1301. Указанный припой характеризуется сравнительно дешевыми компонентами, такими как никель, хром. В процессе получения припой охлаждался принудительно, на вращающемся барабане-холодильнике и относится к классу аморфных припоев.

На основе выбранного припоя разработана технология пайки рабочего колеса компрессора. Предложены режимы пайки. Оборудование на производственном участке не меняется, так как имеющаяся печь СВШ-8.12/13 полностью удовлетворяет нас как по габаритам паяемого изделия, так и по температуре нагрева под пайку.

Анализ мероприятий по обеспечению безопасности труда на производственном участке показал, что уже применяемые технические и организационные средства при замене припоя обеспечат нам защиту производственного персонала от воздействия негативных факторов.

Если вести сравнение с применяемым на предприятии вариантом технологии то трудоемкость, в предлагаемом к внедрению варианте технологии увеличилась на 11%. Это обстоятельство обусловлено тем, что температура плавления предлагаемого припоя чуть больше, следовательно тратится больше времени на нагрев под пайку. Тем не менее, припой ПЖК в 8 раз дороже, следовательно, ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного технологического процесса пайки составит 592084 руб.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин, Н.П., Лысак В.И., Лукьянов В.Ф. Современные способы сварки: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. 59 с.
2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Машиностроение. 2006. 368 с.
3. Афромеев А.А. Технология сборки и сварки полипропиленовых труб / А.А. Афромеев // Бакалаврская работа. Тольятти, ТГУ. – 2015. – 58 с. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/11599>.
4. Берлине, Ю.И., Балашов Ю.А. Технология химического и нефтяного аппаратостроения. М.: Машиностроение, 1976. 256 с.
5. Васильев В.И., Ильященко Д.П. Разработка этапов технологии при дуговой сварке плавлением: учебное пособие. Томск: Издательство ТПУ, 2008. 96 с.
6. Виноградов В.С. Технологическая подготовка производства сварных конструкций в машиностроении. М.: Машиностроение. 1981. 224с.
7. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учеб. пособие. Л. Н. Горина. Гриф УМО. Тольятти : ТолПИ. 2000. 79 с.
8. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций. М.: Изд. «Зеркало», 1995. 288 с.
9. Гринин А. С., Орехов Н.А. Экологический менеджмент : учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 206 с.
10. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. М.: МЧС России, 1995. 230 с.
11. Егоров А.Г., Уполовникова Г.Н., Живоглядова И.А. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич. пособие по выполнению дипломного проекта. Тольятти.: ТГУ, 2011. 87 с.

12. Иванов В.П. Технология и оборудование для восстановления деталей машин. Минск: Техноперспектива. 2007. 458 с.

13. Климов А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение». Тольятти: ТГУ, 2014. 52с.

14. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учеб-метод. пособие к курсовому проектированию. - Тольятти: ТГУ 2008. 77 с.

15. Колганов, Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 512 с.

16. Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.

17. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания. Тольятти: ТГУ. 2008. 38 с.

18. Краткий справочник паяльщика / И.Е. Петрунин [и др.] ; под общ. ред. И.Е. Петрунина. – М. : Машиностроение, 1991. – 212 с.

19. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти: ТГУ. 2005. 35 с.

20. Лашко, Н.Ф. Вопросы теории и технологии пайки / Н.Ф. Лашко, С.В. Лашко. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1974. – 248 с.

21. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста, программам магистратуры: учебно-методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2020. 39 с.

22. Петрунин, И.Е. Пайка металлов : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / И.Е. Петрунин, С.Н. Лоцманов, Г.А. Николаев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Металлургия, 1973. – 281 с.

23. Радзиевский В.Н. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении./ В.Н. Радзиевский, Г.Г. Ткаченко // К.: Экотехнология, 2009. 400 с.
24. Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ. - 2-е изд. перераб. М.: Высш. школа, 1986. 208 с.
25. Сварка и резка в промышленном строительстве. Под ред. Малышева Б.Д. - М.: Стройиздат. 1977. 780с.
26. Справочник по пайке / Под ред. И.Е.Петрунина. - М.: Машиностроение, 2003. - 480 с.
27. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник. М.: ИНФРА М. 2001. 672 с.
28. Федоров А.Л. Технология изготовления паяных конструкций: учеб.-метод. пособие / А.Л. Федоров, А.Ю. Краснопевцев, О.В. Шашкин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 62 с.
29. Хряпин В.Е. Справочник паяльщика. – Изд. 5-е. М.: Машиностроение, 1981. 349 с.
30. Цыганова Е.С. Технология и оборудование для ремонта трубного пучка теплообменника [Электронный ресурс] // Бакалаврская работа. Тольятти, ТГУ. – 2020. – 64 с. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13202> (дата обращения 24.05.2021).
31. Ahlblom B. Oxygen and its Role in Determining Weld Metal Microstructure and Toughness. A State of the Art Review. Reprinted in ASM Handbook. // ASM International. International Institute of Welding. 1984. Vol. 6. Doc. №. IX-1322.
32. Cresswell R. A. Gases and gas mixtures in MIG and TIG welding // Welding and Metal Fabrication. – 1972. – 40, № 4. – P. 114–119.
33. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. et al. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.

34. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // *Welding and Metal Fabrication*. – 1999. – № 5. – P. 8–13.

35. Evans G. Microstructure and Properties of Ferritic Steel Welds Containing Ti and B. // *Welding Journal*. 72 (8). 1996. P. 251-260.

36. Shiliang W., Weiping H., Bogang T. Improving the Toughness of Weld Metal by Adding Rare Earth Elements. // *Welding International* 3. 1986. P. 284-287.