

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 кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Оборудование и технология сварочного производства

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка технологического процесса пайки индуктора ТВЧ

Студент	<u>А.А. Акулов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>А.Л. Федоров</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>Н.В. Зубкова</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Цель бакалаврской работы – уменьшение трудоемкости и материальных затрат при производстве провода индуктирующего для закалки коленчатых валов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: подобран припой, разработан технологический процесс пайки изделия; спроектирована оснастка для реализации разработанного технологического процесса; предусмотрены мероприятия для защиты труда и окружающей среды; проведена экономическая оценка проекта.

Пояснительная записка содержит _49_ стр., 4 рисунка, 7 таблиц.

Для устранения главного недостатка базовой технологии – применения дорогостоящего и дефицитного припоя ПСр 45 и ПСр 25 - предложено использовать медно-фосфористый и оловянно-свинцовый припой. Разработана технология сборки-пайки провода индуктирующего. Сконструирована сборочная оснастка. Для защиты производственного персонала и окружающей среды от вредных факторов, сопутствующих разработанному технологическому процессу, предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

ABSTRACT

The purpose of the bachelor's work is to reduce the complexity and material costs in the production of inductive wire for quenching crankshafts. To achieve the stated goal, the following tasks were solved: solder was selected, the technological process of soldering the product was developed; tooling for the implementation of the developed technological process was designed; measures were provided for the protection of labor and the environment; the economic evaluation of the project was carried out.

Explanatory note contains _49_ p., 4 figures, 7 tables.

To eliminate the main drawback of the basic technology – the use of expensive and scarce solder containing silver - it is proposed to use copper-phosphorous and tin-lead solder. The technology of Assembly and soldering of inductive wire is developed. Assembly equipment has been developed. In order to ensure the protection of production personnel and the environment from harmful factors accompanying the developed technological process, appropriate technical and organizational measures are proposed.

The economic evaluation of the project was carried out

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Анализ исходных данных и известных технических решений	7
1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации	7
1.2 Базовый технологический процесс пайки.	8
1.3 Особенности пайки меди и применяемые припои.	11
1.4 Задачи работы.....	17
2 Разработка проектной технологии	19
2.1 Выбор припоя	19
2.2. Разработка технологического процесса пайки.....	21
3 Разработка оснастки	24
4 Безопасность и экологичность технического объекта.	25
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.	25
4.2 Риски, сопровождающие технологию пайки.	25
4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков	26
4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка пайки.	27
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	29
4.6 Заключение по разделу	30
5 Экономическая эффективность проекта.....	31
5.1 Исходные данные для экономического обоснования	32
сравниваемых вариантов	32
5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	33
5.3 Расчет затрат на новое оборудование	33
5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	44

5.6 Выводы по разделу.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Повышение срока службы автомобиля, и особенно его нагруженных деталей, таких, например, как детали двигателя и ходовой части, является важной задачей для обеспечения конкурентноспособности. Для повышения срока службы используют самые разнообразные технологические приемы. Это и специальные смазочные материалы, и упрочнение поверхности деталей. Например, у коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания шейки испытывают статические и динамические нагрузки, подвержены истиранию. Упрочнение шеек может производиться разнообразными способами. На АО АвтоВАЗ применяют упрочнение закалкой с применением ТВЧ. Индуктор ТВЧ достаточно сложное устройство из меди, изготавливается пайкой, причем технология предусматривает применение серебряного припоя и ручной пайки нагревом газовой горелкой. Серебряные припои обладают отличными технологическими характеристиками. У них сравнительно невысокая температура пайки, хорошая прочность. Однако из-за дороговизны и дефицита серебра на протяжении ряда лет исследователи стремятся найти замену серебряным припоям. В настоящее время разработаны недорогие и не содержащие дефицитных элементов припои, позволяющие заменить серебряные.

Кроме того, технология ручной пайки с применением сборки индуктора на плите и фиксации элементов струбцинами достаточно трудоемка. Необходимо выставить вручную размеры согласно чертежу и обеспечить их соблюдение в процессе пайки.

Цель проекта - уменьшение трудоемкости и материальных затрат при производстве индуктора для закалки коленчатых валов.

1 Анализ исходных данных и известных технических решений

1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

Индуктор для нагрева токами высокой частоты представляет собой трубчатую конструкцию сложной формы. Он состоит из следующих основных узлов и деталей: магнитопроводы 2, токопроводы 3, токоподводы 6, трубки подводящие 1, фланцев 8, прокладки изолирующей 7, (рис. 1.1).

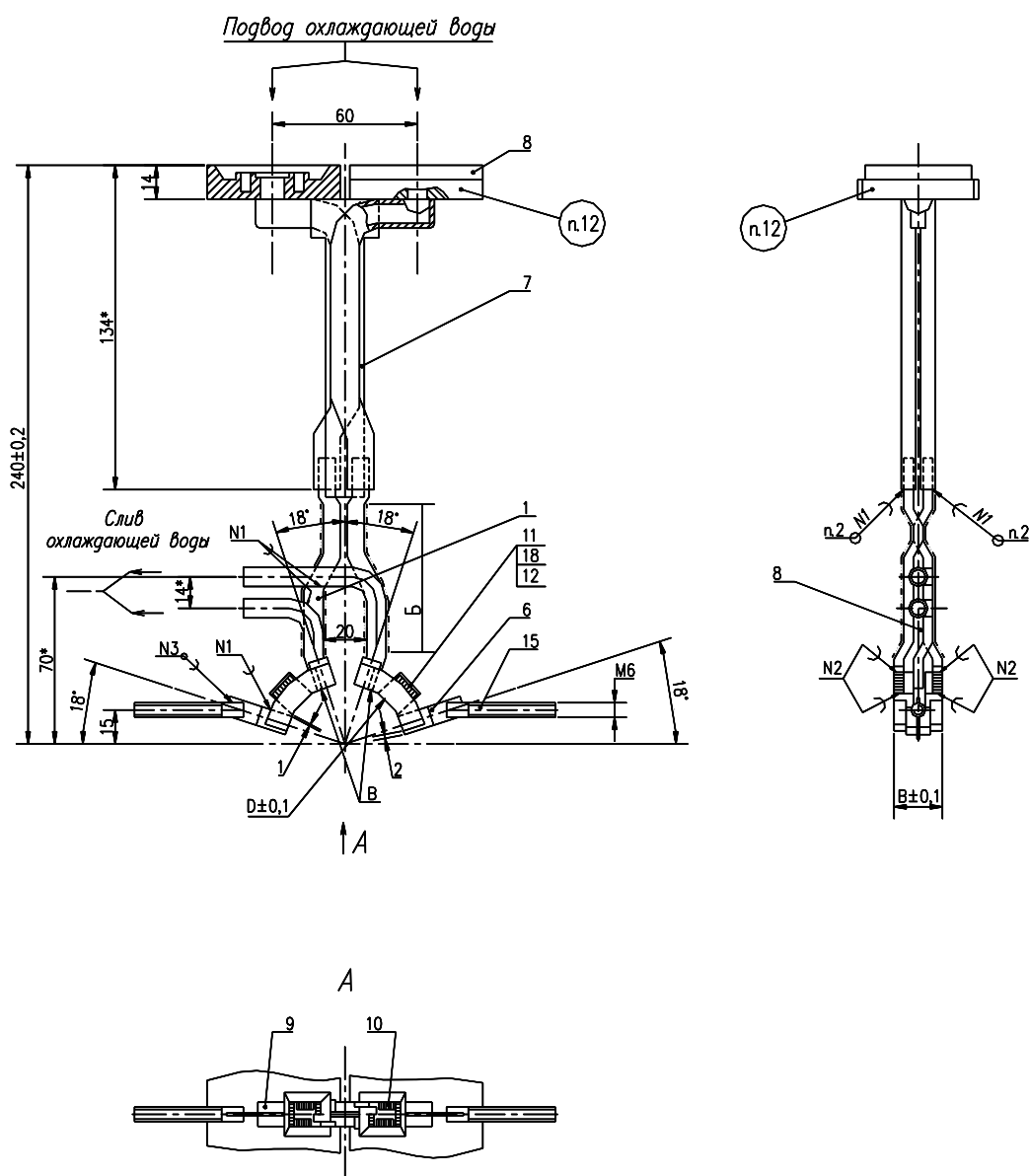


Рисунок 1.1 - Индуктор установки ТВЧ

Индуктор выполнен из меди М1, ГОСТ 859-2001. Медь М1 содержит

99,9% меди, 0,05-0,08% кислорода. Участок от токоподвода до петли магнитопровода обмотан стеклолентой, пропитанной затем смолой эпоксидной. Провод индуктирующий работает в сложных условиях. По нему протекает ток высокой частоты. Это приводит к возникновению нагрузок механических, кроме того, имеют место тепловые нагрузки. Для устранения тепловых нагрузок пропускают воду через трубки, давление охлаждающей воды составляет 0,4 МПа. Следует отметить, что величина протока жидкости через трубопроводы регламентирована, значит в процессе эксплуатации не должен уменьшаться диаметр отверстий для протока охлаждающей жидкости. Помимо всех прочих нагрузок возможны различные случайные механические воздействия.

Поэтому, кроме высоких требований к материалу магнитопровода и токопровода, а также трубок для охлаждающей жидкости, высокие требования предлагаются к присадочному материалу – припою. Припой помимо высоких технологических характеристик, должен обеспечивать прочность и герметичность соединения а также высокую электропроводность.

1.2 Базовый технологический процесс пайки.

По базовой технологии изготовления нагрев под пайку изделия производится пламенем газовой горелки. В качестве припоя используют припои ПСр 45 ГОСТ 19738-74 и ПСр 25 ГОСТ 19738-74 (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Применяемые припои

Марка	Содержание основных элементов, % (масс.)			Температура, °С		Плотность, кг/м ³	Удельное электросопротивление 10 ⁻⁸ Ом·м
	Ag	Cu	Zn	Начала плавления	Полного расплавления		
ПСр45	44,5-45,5	29,5-26,5	Ост.	660	725	9100	9,7
ПСр25	24,7-25,3	39-41	Ост.	745	775	8700	6,9

Данные припои обладает отличными технологическими

характеристиками (хорошая растекаемость, низкая температура плавления, не содержат компонентов с высокой упругостью пара). Кроме того, они прочны, обладают высокой пластичностью и высокой электропроводностью. При пайке для активации поверхности изделия используют флюс ПВ209 ГОСТ 23178-78. Нагрев производят ацетиленокислородным пламенем газовой горелкой.

Технологический процесс пайки выглядит следующим образом. Первая операция - подготовительная. Детали медные очищают от загрязнений и обезжиривают ветошью, смоченной ацетоном. Затем детали просушивают. Вначале паяют трубки для подвода охлаждающей жидкости (см. рис. 1.1.). На базовую плиту устанавливают фланцы, с ними стыкуют трубки, совмещая отверстия для прохода охлаждающей жидкости во фланцах и в трубках. Затем наносят на паяемую поверхность флюс ПВ 209, производят разогрев пламенем газовой горелки мест пайки до температуры примерно 770°C, и подают пруток припоя ПСр 25 в область газового пламени. После расплавления припоя следят, чтобы он заполнил зазор, прекращают нагрев и обеспечивают неподвижность трубок относительно фланцев до кристаллизации припоя. После кристаллизации припоя и охлаждения до комнатной температуры производят контроль качества узла, при этом обращают внимание на отсутствие дефектов в паяном соединении. Не допускаются непропаи, трещины. Затем производят контроль отверстий, припой не должен закрыть отверстия для прохода жидкости. После этого производят контроль геометрии узла. Размеры должны соответствовать чертежу.

Следующий этап - пайка магнитопровода, винтов токоподвода и трубок для отвода охлаждающей жидкости (см. рис. 1.1). На плиту укладывают магнитопровод, переемы, выставляют размеры согласно чертежа, наносят порошок флюса ПВ 209 и производят нагрев мест пайки пламенем. После достижения температуры 800°C, растекания флюса, подают в зону нагрева пруток припоя ПСр 45 и производят нагрев. Припой

плавится, растекается, затекает в зазоры, после чего нагрев прекращают и обеспечивают неподвижность соединения до кристаллизации припоя. После охлаждения и контроля (не допускаются непропаи и трещины, а также отклонение от геометрии более 0,2 мм) производят сборку узла с винтами токоподвода. Наносят на паяемые поверхности порошок флюса. Затем производят нагрев мест пайки пламенем газовой горелки. После достижения температуры 770⁰С, и растекания флюса подают в зону нагрева пруток припоя ПСр 25 и производят нагрев. Припой плавится, растекается, затекает в зазоры, после чего нагрев прекращают и производят выдержку до кристаллизации припоя. Контроль производят на наличие в шве непропаев, и контролируют, целостность предыдущего шва.

Следующий этап в изготовлении провода индуктирующего – пайка к магнитопроводу трубок для слива охлаждающей жидкости (см. рис. 1.1.). Изделие собирают на плите. Устанавливают трубки для подвода охлаждающей жидкости, производят нагрев мест пайки пламенем. После того как температура достигнет температуры 850⁰С, наносят порошок флюса и после того, как флюс растечется подают в зону нагрева пруток припоя ПСр 25 и производят нагрев. Припой плавится, растекается, затекает в зазоры, после чего нагрев прекращают и ждут пока припой кристаллизуется. Контроль швов производят исходя из недопустимости наличия непропаев и трещин. Кроме того производят проверку герметичности трубок и контролируют состояние предыдущих швов.

Последний этап технологического процесса изготовления – это пайка магнитопровода и трубок для подвода охлаждающей жидкости (см. рис. 1.1.). Здесь при сборке необходимо обеспечить жесткий допуск по высоте 240 мм. Пайку трубок производят с использованием телескопического соединения. После сборки производят нагрев мест пайки пламенем газовой горелки. По достижении температуры 850⁰С, наносят порошок флюса и после того, как флюс растечется подают в зону нагрева пруток припоя ПСр 25 и греют. Припой плавится, растекается, затекает в зазоры, нагрев

прекращают и ждут пока припой кристаллизуется. После охлаждения изделия проводят окончательный контроль изделия. Обращают внимание на герметичность швов, и на возможность прохода охлаждающей жидкости. Деталь должна соответствовать чертежу.

Затем производят механическую обработку выступающих участков магнитопровода заподлицо с поверхностями токопровода. Участок Б (см. рис. 1.1) обматывают стеклолентой и пропитывают эпоксидной смолой, закладывают прокладки между трубками для прохода охлаждающей жидкости. Завершающая операция - испытание на проток и маркировка на фактический проток охлаждающей жидкости.

Главный недостаток данного технологического процесса - применение припоев содержащих серебро. Они дороги, это повышает стоимость изделия.

1.3 Особенности пайки меди и применяемые припои.

Анализ литературных данных показывает, что на практике для лужения и пайки меди применяют целый ряд низко и высокотемпературных припоев. Причем многие из них имеют низкую смачивающую способность, невысокую механическую прочность, коррозионную стойкость, пластичность, кроме того, некоторые из них содержат дорогостоящие и дефицитные материалы (золото, серебро, германий, индий и др.), поэтому при выборе припоев для использования их в технологических процессах восстановления деталей и узлов, изготовленных из меди и ее сплавов, в частности в технологических процессах восстановления водяных и масляных радиаторов двигателей автотракторной техники, исходили прежде всего из соображений получения достаточных эксплуатационных характеристик и экономической целесообразности. В наибольшей мере этим требованиям удовлетворяют оловянно-свинцовые припои, выпускаемые серийно нашей промышленностью. Причем, в качестве флюса в указанных технологических процессах пайки, предлагается использовать водные растворы хлористого цинка и хлористого аммония, наиболее часто применяемые для защиты

паяных швов при соединении меди и ее сплавов между собой, а также со стальными деталями.

На основании проведенного анализа можно заключить, что при газопламенной пайке меди и ее сплавов использование оловянно-свинцовых припоев позволяет получать паяные соединения, имеющие достаточно высокие эксплуатационные свойства.

Кроме того, для пайки меди возможно применение и припоев с более высокой температурой плавления. Так в настоящее время для пайки деталей из меди и ее сплавов часто используются медно-цинковые припои, которые отличаются высокими прочностью и коррозионной стойкостью, невысокой стоимостью. Вместе с тем использование медно-цинковых сплавов в качестве припоя при изготовлении конструкций ограничено из-за возникновения в паяных швах различных дефектов (например, пористости), вызывающих ухудшение физико-механических и эксплуатационных свойств паяных соединений [3, 4]. Предупреждение образования дефектов таких соединений позволяет повысить качество изделий и эффективность процессов пайки в целом.

Анализ свойств соединений, полученных пайкой припоями на основе меди, показал, что высокими физико-механическими свойствами обладают соединения, выполненные медно-цинковыми припоями, дополнительно легированными элементами, образующими с медью и цинком эвтектические сплавы. Исследования микроструктуры таких паяных соединений производились методами микроструктурного и микродюрометрического анализа. Данные припои получали осаждением гальванических покрытий на медную основу с последующим отжигом. Покрытия системы никель – цинк – фосфор наносились на медную основу электрохимическим осаждением из электролита-суспензии при температуре 20 С и плотности тока 5 А/дм². Необходимое значение температуры электролита поддерживалось с помощью термостата ВТ-200. Термическая обработка медной основы с покрытиями производилась в электрической печи.

Перед пайкой заготовки образцов очищались от загрязнений, окислов, остатков масла, обезжиривались. Пайка образцов проводилась в электрической печи в контейнере из коррозионно-стойкой стали с защитной атмосферой. Величина зазора между соединяемыми деталями обеспечивалась при помощи прокладок из того же материала. После пайки прокладки удалялись токарной обработкой – обтачиванием – до требуемого диаметра. После обтачивания поверхность образцов шлифовалась электрохимической обработкой до шероховатости Ra 1,6 мкм.

Прочность паяных соединений определялась на разрывной машине установки АЛАТОО в соответствии с ГОСТ 28830-90. Использовались телескопические образцы диаметром 5 мм из латуни Л62. Измерения проводились с погрешностью не более 0,1 мм. Количество дефектов и характер их распределения оценивались макро- и микроанализом. Травление микрошлифов производилось соляно-кислым раство-ром хлорного железа (III) [7].

На качество процесса пайки в значительной степени влияют недостатки паяных соединений, к которым относятся: непропаи и неспаи, газовая и диффузионная пористость, хрупкие прослойки в переходной зоне, трещины в металле соединяемых деталей и шве, пониженная пластичность и т.п.

Использование медно-цинковых припоев для изготовления паяных соединений имеет ряд технологических особенностей, связанных с возникновением значительной пористости и непропаев в паяных швах, что приводит к существенному снижению прочности и коррозионной стойкости соединений. Основными причинами возникновения указанных дефектов в паяных швах при пайке медно-цинковыми припоями является плохая смачиваемость соединяемых деталей припоем и испарение цинка из поверхности паяного шва при высоких температурах.

Смачиваемость поверхности паемых изделий можно повысить при если улучшить условия появления жидкой фазы припоя при нагреве. Если компоненты припоя и соединяемых деталей образуют легкоплавкие

эвтектические или перитектические сплавы, то условия появления жидкой фазы припоя при нагреве улучшатся.

Исходя из указанных соображений был предложен концептуальный подход к созданию эффективного припоя для пайки деталей из медных сплавов. Подход основывается на следующих положениях. Для повышения физико-механических и технологических свойств паяных соединений медная основа подвергается диффузионному насыщению. После насыщения медная основа должна содержать легирующие элементы, которые обеспечивают высокую жидкотекучесть плавочного материала, способствуют залечиванию пор, образующихся в результате испарения из поверхностных слоев легирующих элементов. Кроме того, легирование должно осуществляться несколькими легирующими элементами, т.е. быть многокомпонентным, что способствует увеличению энергии связи атомов и ухудшает условия для их испарения из поверхностных слоев при температурах нагрева под пайку. Анализ диаграмм состояния сплавов на основе меди позволил сделать вывод, что указанным требованиям в наилучшей степени отвечают сплавы меди, легированные фосфором, никелем, цинком [8, 9].

Для проверки данных предположений были исследованы легкоплавкие сплавы систем: медь – фосфор, медь – цинк, медь – цинк – никель – фосфор. Для получения данных сплавов была использована технология синтеза многокомпонентных сплавов, заключающаяся в гальваническом осаждении на поверхность металлической основы-матрицы насыщающих слоев с мелкодисперсными легкоплавкими включениями и последующей термической обработке [10, 11].

Сплав системы медь – фосфор был получен диффузионным насыщением фосфором медной фольги. В качестве сплава системы медь – цинк использовалась медная фольга, легированная цинком. Сплав системы медь – цинк – никель – фосфор был получен осаждением гальванического покрытия системы цинк – никель – фосфор с последующим отжигом. Данные

материалы были использованы в качестве припоя для соединения цилиндрических образцов из латуни.

В работе изучались физико-механические свойства паяных соединений, полученных при помощи печной пайки без флюса. При этом исследовались зависимость прочности паяных соединений от состава используемых припоев, температуры пайки и времени выдержки при температуре пайки. Так как при нагреве латунных деталей происходит интенсивное испарение цинка, то пайка производилась не в вакууме, а в восстановительной атмосфере.

После пайки образцы подготавливали для испытаний на растяжение механической и электрохимической обработкой без правки и рихтовки. Испытания проводились в приспособлениях на разрывной машине с регулируемой скоростью перемещения.

В ходе исследований было установлено, что изменение режимов пайки оказывает влияние на микроструктуру паяного соединения припоем системы медь – цинк. С увеличением выдержки с 30 до 60 минут при температуре 650 С увеличивается толщина зоны - фазы, а толщина двухфазной зоны уменьшается. Это связано с изменением содержания цинка вследствие его испарения. При испарении цинка из паяного соединения его содержание в поверхностном слое уменьшается и происходит обогащение поверхностного слоя медью. Также при увеличении выдержки паяного соединения при температуре пайки наблюдается уменьшение количества пор при одновременном увеличении их размеров. С увеличением выдержки с 30 до 60 минут при температуре 750 С прослойки -фазы не наблюдается. Это связано с неустойчивостью -фазы вблизи температуры плавления, а также контактным твердым плавлением меди в цинке.

При пайке образцов припоем системы медь – цинк – никель – фосфор образуется меньшее количество пор с меньшей суммарной площадью (11 штук и 1,6 мм²) по сравнению с пайкой припоем медь – цинк (17 штук и 2,7

мм²). Данное снижение, очевидно, обусловлено протеканием двух процессов:

- во-первых, уменьшением температуры плавления припоя за счет легирования никелем и фосфором и повышением жидкотекучести припоя, увеличивающим способность припоя залечивать поры, образующиеся при испарении цинка;

- во-вторых, это является следствием образования более плотной пленки оксидов на поверхности припоя, обеспечивающей лучшую защиту поверхностных слоев паяного соединения от испарения атомов цинка.

Были проведены исследования микротвердости полученных паяных соединений до и после выдержки при повышенных температурах. Результаты исследований показали, что легирование припоя медь – цинк никелем и фосфором обеспечивает увеличение его микротвердости после выдержки при повышенной температуре в среднем на 14 %. Это увеличение также можно объяснить, в частности, уменьшением испарения цинка с поверхности паяного соединения при нагреве.

Данные механических испытаний свидетельствуют:

- наиболее высокую прочность (340 МПа) имеют образцы, соединенные пайкой припоем системы медь – цинк – никель – фосфор;

- несколько уступают по этому показателю (324 МПа) образцы, соединенные пайкой припоем системы медь – цинк;

- наихудшие результаты (288 МПа) показали образцы после пайки припоем системы медь – фосфор.

Одной из причин меньшей прочности припоя системы медь – фосфор, очевидно, является меньшая смачиваемость поверхности деталей припоем данного типа из-за более высокой температуры плавления. Это подтверждается результатами анализа микроструктуры соединений, паянных данным припоем, и сравнительной оценкой количества дефектов. По количеству пор и их суммарной площади (19 штук и 3,2 мм²) припой системы медь – фосфор уступает остальным припоям. Кроме того, этот

припой имеет меньшую пластичность (3,1 %) по сравнению с двумя другими системами: медь – цинк – никель – фосфор и медь – цинк (5,6 и 6,3 % соответственно).

1.4 Задачи работы

Анализ базовой технологии показывает. Что основным ее недостатком является применение припоев на основе серебра. Однако, учитывая температуру плавления меди, составляющую 1083°C, а также большое многообразие различных систем припоев, а также тот факт, что медь к числу труднопаяемых материалов не относится, можно подобрать полноценные заменители серебряных припоев для данного изделия.

Как показывает анализ базовой технологии, сборка изделия на базовой плите является трудоемкой, потому что необходимо выдерживать точные размеры, кроме того, форма изделия достаточно сложная. Тип производства данных изделий есть мелкосерийное, поэтому целесообразно в данном случае сделать приспособление. Но приспособление должно обеспечивать сборку под пайку всю номенклатуру типоразмеров проводов индукционных. Иначе для каждого типоразмера придется делать свое приспособление. Таким образом, ложементы и прижимы приспособления должны перемещаться относительно базовой плиты.

Разумеется, новые технологические решения не должны отрицательно сказываться на здоровье персонала и на состоянии окружающей среды. Поэтому необходимо предусмотреть технические и организационные мероприятия на участке пайки по недопущению ухудшения экологической ситуации и увеличению травматизма.

Кроме того, необходимо оценить экономические аспекты новых технологических решений, может внедрение их не даст экономического эффекта.

Исходя из вышеизложенного, определим задачи:

1. Выбор бессеребряного припоя, способа нагрева и разработка технологического процесса пайки таким припоем.

2. Разработка конструкции приспособления, обеспечивающего сборку и фиксацию под пайку провода индукционного всех типоразмеров.
3. Разработку мероприятий по защите здоровья, жизни производственного персонала а также окружающей среды.
4. Проведение мероприятий по правовой охране заложенных в проекте технических решений.
5. Оценку экономической эффективности проекта.

2 Разработка проектной технологии

2.1 Выбор припоя

Из всей номенклатуры бессеребряных припоев, проанализированных в разделе 1.2. данной работы сложно подобрать только один, удовлетворяющий требованиям ко всем паяным соединениям индуктора установки ТВЧ. Если рассмотреть требования к паяному шву, соединяющему токоподвод и перемычку, а также паяный шов соединяющий перемычку и магнитопровод, то они должны оказывать минимальное сопротивление прохождению электрического тока, и быть прочными. Кроме того, размер перемычки мал, и возможна распайка первого шва при пайке второго. Значит, по возможности, температура пайки для первого шва должна быть выше, а значит и температура плавления припоя тоже должна быть выше. Анализ выполненный в первом разделе показал на нежелательность применения латуней. Температура пайки латунями уж больно высокая. Однако температура пайки припоем медно-фосфористым значительно ниже. Причем первый шов можно паять припоем ПМФ 7, с температурой начала плавления 714°C и окончания плавления 850°C [5]. Электропроводность данного припоя даже меньше, чем у серебряных [5]. А для пайки второго шва рекомендуем ПМФ ОЦр 6-4-0,03. Характеристики припоя ПМФ ОЦр 6-4-0,03 следующие начало плавления при нагреве - 640°C (температура солидус) и температура ликвидус – окончание плавления составляет 680°C . Следовательно, первый шов не распаяется. Правда электропроводность данного припоя хуже, чем ПМФ7, но здесь нахлестка перемычки и токоподвода больше.

Соединения контуров охлаждения не испытывают прохождения электрического тока. Поэтому электропроводность припоя не имеет здесь значения. Требования по прочности, предъявляемые к данным соединениям невелики. Кроме того, здесь большая величина нахлестки. Поэтому применим припой ПОС 40. Температура полного расплавления данного

припоя 238°C [5], это является определенного рода преимуществом, так как не нужны будут мощные источники тепла для нагрева.

Но при пайке припоями со столь большой разницей в температуре пайки потребуются и разные флюсы. Одним флюсом здесь уже не обойтись. Дело здесь в том, что температурный интервал активности у каждого флюса является сравнительно небольшим. Применяемый в базовой технологии флюс ПВ209 отличается высокой стоимостью. Учитывая, что для припоев системы медь-фосфор характерны самофлюсующие свойства, будем использовать буру обезвоженную. Но при температурах пайки припоем ПОС 40 бура не обладает должной активностью по отношению к оксидам на поверхности паяемого металла – меди. Температурный интервал активности буры лежит в диапазоне 600...1100°C. Для пайки припоем ПОС 40 требуется низкотемпературный флюс, чтобы облегчить задачу возьмем припой ПОС 40 с флюсом внутри, рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 – Припой в виде трубки с флюсом внутри

В качестве флюса в данном припое применена канифоль.

Чтобы определиться с вариантом нагрева индуктора при пайке необходимо учитывать вид производства, характеристики индуктора, такие как габариты, вес, требуемую температуру нагрева. Кроме того, по возможности, следует применить метод нагрева недорогой и не требующий дефицитного оборудования. Вид производства при пайке индуктора можно отнести к мелкосерийному, поэтому затраты на закупку дорогостоящего оборудования могут не окупиться. Максимальная температура нагрева, требуемая, для расплавления выбранных припоев не превышает 900°С.

Еще один момент, который следует учесть – в базовой технологии использован газопламенный нагрев. Значит, оставив его можно избавиться от хлопот, связанных с поиском и закупкой других источников нагрева. Если рассмотреть припой с низкой температурой плавления, ПОС-40, пайку им ведут с применением нагрева паяльником. Но, во первых, нецелесообразно применять 2 вида оборудования. Кроме того, массивные детали индуктора с высокой теплопроводностью, следует помнить, что материал индуктора медь, нужно будет долго греть.

Поэтому оставим применяющийся в базовом варианте газопламенный способ.

2.2. Разработка технологического процесса пайки

Первая операция – подготовительная – изменений в ней, по сравнению с базовой технологией, делать не нужно. Как и в базовой технологии будем выполнять очистку медных заготовок от загрязнений. Заготовки погружаем в щелочной раствор и промываем. После просушки обезжириваем ветошью смоченной ацетоном, и снова просушиваем.

Следующая операция - сборка провода индукционного в специализированном приспособлении.

Вначале паяем магнитопровод и перемычки.

Нагрев незащищенных металлов перед пайкой приводит к

значительному окислению их поверхности. Поэтому флюс наносим на паяемую деталь еще до подогрева, чтобы создать флюсовую защиту металла от окисления. Производим нагрев соединения пламенем газовой горелки до температуры примерно 900°C. Нагрев при пайке ведем быстро, чтобы испарение растворителя (воды или спирта) произошло непосредственно при расплавлении флюса. Нагреваем в первую очередь более массивную деталь - магнитопровод. Затем подаем в зону нагрева припой ПМФ 7.

При нагреве припой должен плавиться только при соприкосновении с паяемым изделием, так как иначе припой может попасть на недостаточно подогретую поверхность и не затечь в зазор. После образования галтельного участка паяного шва не следует снова подогреть шов для улучшения его вида, чтобы не перегреть основной металл и не вызвать образования пор в шве.

Затем паяем перемычку и токоподвод. Производим нагрев паяемого соединения до температуры примерно 700°C. Нагрев ведем со стороны токоподвода, как более массивной детали. Флюс наносим перед началом нагрева. Греем возможно более быстро. После нагрева подаем припой ПМФ ОЦр, греем до температуры плавления убираем пламя.

Пайку трубок для подвода охлаждающей жидкости производим припоем ПОС 40, используя пруток припоя с флюсом внутри. Проводим нагрев до температуры 300°C, подаем припой в зону нагрева и греем до плавления припоя и его затекания в зазоры.

Изделие оставляем в приспособлении до его охлаждения. Затем производим контроль. Недопустимы непропаи и трещины в соединении. Данный вид дефектов выявляем внешним осмотром. Используем при этом лупу 2х. Проводится контроль герметичности швов трубок протока воды. Контроль на герметичность проводится гидравлическим давлением 1 МПа в течение 1 минуты. Затем проводится контроль на проток, при давлении 0,4 МПа скорость прохода должна соответствовать не менее 5 литр/мин. Исток должен быть свободным. Полученная величина фактического протока

маркируется на проводе индуктирующем.

3 Разработка оснастки

Для реализации разработанного технологического процесса пайки провода индуктирующего необходимо обеспечить фиксацию деталей данного узла во время пайки. Для фиксации разработано приспособление (Рис. 3.1.).

Приспособление состоит из следующих деталей и узлов: 1 оправка установочная, 2 стойка задняя, 3 планка, 4 стойка, 5 ножка, 6 перемычка, 8 основание.

Основание изготовлено из стальной пластины толщиной 14 мм. в нем выполнены отверстия для крепления ножек и для установки оправки и стойки. На каждый типоразмер индуктора предназначена оправка определенного типоразмера. Поэтому оправки имеют возможность замены.

Установленные на основание прижимы для фиксации паяемого изделия позволяют обеспечить фиксацию взаимного положения паяемых деталей в процессе пайки. В качестве прижимающего элемента приняли винты. Данный вид прижимов взят потому, что не требуется больших усилий при фиксации деталей. кроме того, применение пневмоприжимов не позволило бы сделать приспособление простым и компактным, и доступ к месту пайки был бы затруднен. Анализируя данные достоинства и недостатки пришли к выводу, что выигрыш в производительности, обусловленный автоматической фиксацией паяемых изделий, будет впоследствии расходоваться вследствие затрудненного доступа к местам пайки. Следовательно, смысла особого делать приспособление с автоматической фиксацией паяемых деталей нет.

При пайке рабочий устанавливает в плиту оправку требуемого размера, затем производим сборку компонентов провода индуктирующего: устанавливаем на сборочное приспособление перемычку и токоподвод; трубки подводящие, магнитопровод; фланец; трубки промежуточные; соединитель. Производит контроль геометрии изделия, фиксирует винтовыми прижимами, и затем производит пайку.

4 Безопасность и экологичность технического объекта.

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.

Согласно распоряжению по институту машиностроения тема бакалаврской работы сформулирована следующим образом: «Разработка технологического процесса пайки индуктора ТВЧ». В настоящее время пайка индуктора выполняется технологией газопламенного нагрева с применением серебросодержащего припоя. Разработана технология пайки с использованием бессеребряных припоев, естественно, что при внедрении данных технических решений необходимо предусмотреть мероприятия по нейтрализации опасных и вредных технологических факторов, сопровождающих технологию пайки.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Выполняемые работы	Должности работников, реализующих данный техпроцесс	Вновь установленное оборудование	Вспомогательные материалы
Пайки соединений индуктора ТВЧ	Подготовка, сборка и пайка компонентов индуктора	Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов,	Горелка газовая	Припой ПМФ-3, ацетилен, кислород

4.2 Риски, сопровождающие технологию пайки.

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс могут вызвать нетрудоспособность работника. В таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке пайки негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

Выполняемые работы	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Подготовка, сборка и сварка индуктора ТВЧ	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Горелка газовая, припой ПМФ-3, ацетилен, кислород

4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков

Уже внедренные на производственном участке и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Острые кромки		Перчатки, спецодежда.
движущиеся детали оборудования и заготовки	Плакаты и надписи, барьеры и ограждения.	
повышенная запыленность и	вентиляция	Средства защиты

загазованность воздуха на участке		дыхательных путей
повышенная температура оборудования и воздуха участка	вентиляция	Спецодежда, перчатки
повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	Заземление, контроль изоляции.	
Световая и инфракрасная радиация.	Экранирование места пайки щитами,	Перчатки, спецодежда.

4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка пайки.

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Подготовки, сборки и пайки индуктора	Горелка газовая	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили или (вызываются)	Не применяется	Не применяется	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
пайка	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности, создание добровольной пожарной дружины.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие объекта, технологического процесса (здания по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортного средства	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
пайка	Подготовка, сборка, пайка индуктора	газообразные частицы; сажа;	Вода используемая при контроле	упаковка от припоя, бумажная, полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 4.8 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Пайка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Фильтры в системе вентиляции участка задержат мелкодисперсные частицы сажи
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Важным является соблюдение культуры производства, исключение утечек жидкости, применяемой при контроле герметичности запаянного индуктора.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Размещение на территории участка пайки емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, разъяснять производственному персоналу правила сбора твердых отходов

4.6 Заключение по разделу

Планируемый к внедрению технологический процесс пайки бессеребряными припоями сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих участка пайки и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса механизированной сварки.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс пайки бессеребряными припоями не нужно.

Также технология пайки оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложен комплекс организационных мероприятий.

5 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса пайки применяется газовый нагрев и серебрясодержащие припои. Результаты анализа научно-технической и патентной литературы позволили рекомендовать для проектного варианта пайку бессеребряными припоями.

Сопоставительный анализ двух вариантов, базового и проектного, приведен в таблице 5.1. В таблице рассмотрены выявленные в 1 разделе работы недостатки базовой технологии сварки и принцип их устранения при использовании механизированной сварки.

Таблица 5.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

Базовая технология	Проектная технология
Поскольку температура плавления серебрясодержащих припоев превышает 700 С, необходимо до указанных температур греть паяные соединения, времени для этого требуется много, следовательно производительность низкая.	Температура плавления припоя системы олово-свинец менее 200 градусов. Нагрев до такой температуры не требует много времени. Поэтому производительность пайки возрастает.
Стоимость серебрясодержащих припоев высокая, так как серебро является дорогостоящим и дефицитным компонентом припоя.	При проектной технологии предложен припой системы медь-фосфор для пайки токопровода и припой системы олово-свинец для пайки перемычек. Данные припои не содержат серебро, из стоимость невелика

5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
			Базовый	Проект.
Годовая программа	$N_{\text{пр}}$	шт	500	500
Финансовые затраты на 1 кг присадочного материала	$\text{Ц}_{\text{эл.}}$	Руб/кг	680	190
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	ктз	-	1,05	1,05
Значение тарифной ставки	$C_{\text{ч}}$	Руб/час	95,29	84,87
Коэффициент, учитывающий начисления к основной заработной плате	$k_{\text{зпп}}$	-	1,81	1,81
Отчисления на дополнительную заработную плату	$k_{\text{д}}$	%	10	10
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$N_{\text{соц}}$	%	30	30
Финансовые затраты на покупку оборудования	$\text{Ц}_{\text{об}}$	Руб	40000	70000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	$N_{\text{а}}$	%	18	18
Коэф. Полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,78
Стоимость электроэнергии	$\text{Ц}_{\text{э-э}}$	Руб/кВт	3,02	3,02
Удельный расход защитного газа	$U_{\text{зг}}$	$\text{М}^3/\text{час}$	-	50
Стоимость защитного газа	$\text{Ц}_{\text{зг}}$	Руб/ м^3	-	50
Стоимость аренды площади	$S_{\text{экспл}}$	Руб/ м^2	1800	1800
Стоимость приобретения производственных площадей	$\text{Ц}_{\text{пл}}$	Руб/ м^2	4500	4500
Площадь занимаемая оборудованием	S	М^2	8	11
Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования	$k_{\text{монт}}$	%	2	2
	$k_{\text{дем}}$			
Коэффициент цеховых расходов	$k_{\text{цех}}$		1,72	1,72
Коэффициент заводских расходов	$k_{\text{зав}}$		1,97	1,97

5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для расчета штучного времени на пайку одного индуктора ТВЧ применим зависимость:

$$t_{шт} = t_{n-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} \quad (5.1)$$

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

$t_0 = t_M$ – время, расходуемое непосредственно на выполнение сварного шва - машинное.

$t_в$ – время, расходуемое на подготовку оборудования для пайки к работе $t_в = 10\%$ от t_0 .

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

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

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

Машинное время определим по технологической карте:

$$t_{об} = 0,049 \text{ час} = 2,94 \text{ мин.}$$

$$t_{оп} = 0,027 \text{ час} = 1,62 \text{ мин.}$$

Подставив в (5.1) необходимые значения, получим:

$$t_{шт\text{в}} = 2,94 + 0,294 + 0,147 + 0,235 + 0,029 = 3,64 \text{ мин} = 0,060 \text{ час}$$

$$t_{шт\text{п}} = 1,62 + 0,162 + 0,081 + 0,129 + 0,0162 = 2,00 \text{ мин.} = 0,033 \text{ час.}$$

5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{соп} \quad (5.2)$$

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

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

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{ПР}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5.3)$$

где $\sum \Pi_{\text{об}}$ – финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (5.4)$$

где $N_{\text{пр}}$ – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{\text{шт}}$ – время, расходуемое на сварку одного стыка трубопровода (штучное), мин.;

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

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.4) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ($n_{\text{об.прин}}$).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (5.5)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п}}) \quad (5.6)$$

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

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

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

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

S – принятое на предприятии количество рабочих смен;

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

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

Для базового варианта технологии

$$n_{об.расчетн.б} = \frac{500 \cdot 4,21}{1812 \cdot 60} = 0,027 \text{ шт}$$

$$k_{зб} = \frac{0,027}{1} = 0,027$$

$$K_{прб} = 40000 \cdot 0,027 = 1080 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{500 \cdot 2,00}{1812 \cdot 60} = 0,012 \text{ шт}$$

$$k_{зпр} = \frac{0,012}{1} = 0,012$$

$$K_{прпр} = 70000 \cdot 0,012 = 840 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{соп} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (5.7)$$

$K_{монт}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{дем}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{площ}$ – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{монт} = \sum \Pi_{об} \cdot k_{монт} \quad (5.8)$$

где: $k_{монт}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному

варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям

$$k_{\text{МОНТ}} = 0,2.$$

$$K_{\text{МОНТ}} = 70000 \cdot 0,2 = 14000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma C_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (5.9)$$

где $k_{\text{дем}}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям,

$$k_{\text{дем}} = 0,2$$

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

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = S_{\text{ПЛОЩ}} \cdot C_{\text{ПЛОЩ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.10)$$

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

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{ПР}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{ПР}} = 840 + 14000 + 8000 + 5400 = 28240 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.11)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 1080/700 = 1,54 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{ПР}} = 28240/700 = 40,34 \text{ руб.}$$

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

$$ЗМ = ЗМ_{\text{ОСН}} + ЗМ_{\text{ВСП}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время на предприятии технологии пайки в качестве вспомогательных материалов используют серебросодержащие припои, расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{эл.} = Н_{эл.} \cdot Ц_{эл.} \quad (5.12)$$

где $Ц_{эл.}$ – стоимость припоя, руб/кг;

$Н_{эл.}$ – расход припоя согласно нормативам, кг.

$$Н_{эл.} = У \cdot L_{ш.} \quad (5.13)$$

где – $У$ – расход припоя на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш.}$ – общая протяженность паяного шва, м.

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (5.14)$$

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

$M_{напл.мет}$ – общее количество присадочного материала, нужного для формирования паяного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.15)$$

где ρ – плотность припоя, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения паяного шва, $F_n = 1,29 \text{ мм}^2$.

$$M_{напл.мет} = 7,8 \cdot 159 / 1000 = 1,240 \text{ кг.}$$

$$У = 1,7 \cdot 1,240 = 2,10 \text{ кг/м.}$$

$$НР_{эл} = 2,10 \cdot 0,687 = 1,448 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{элб} = 68 \cdot 1,448 = 98,49 \text{ руб;}$$

$$ЗМ_{б} = 98,49 \text{ руб.}$$

Для предлагаемой в проектном варианте технологии в качестве вспомогательных материалов используют бессеребряные припои, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{свпр} = ЗМ_{свпр} + ЗЗг \quad (5.16)$$

Расходы на закупку бессеребряного припоя определим по формуле:

$$ЗМ_{свпр} = Ц_{пр} \cdot Н_{пр} \quad (5.17)$$

где $Ц_{пр}$ – стоимость применяемого в проектной технологии припоя, руб/кг;

$Н_{пр}$ - норма расхода применяемой в проектной технологии присадки, кг.

Для определения нормы расхода применяемого в проектной припоя воспользуемся формулой:

$$Н_{пр} = У \cdot L_{ш} \quad (5.18)$$

где – $У$ - расход сварочной проволоки на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш}$ – общая протяженность паяного соединения, м.

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (5.19)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{напл.мет}$ – общее количество присадочного материала, припоя, нужного для формирования паяного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.20)$$

где ρ – плотность припоя, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 159 \text{ мм}^2$.

$$M_{напл.мет} = 7,8 \cdot 159 / 1000 = 1,240 \text{ кг.}$$

$$У = 1,05 \cdot 1,240 = 1,302 \text{ кг/м.}$$

$$Н_{пр} = 1,302 \cdot 0,687 = 0,894 \text{ кг}$$

$$ЗМ_{свпр} = 59,0 \cdot 0,894 = 52,77 \text{ руб.}$$

Расходы на применяемый для защиты сварочной ванны газ, в предлагаемом варианте аргон, определим по формуле:

$$З_{з.г.} = Ц_{з.г.} \cdot Н_{з.г.} \quad (5.21)$$

где $Ц_{з.г.}$ – рыночная стоимость одного литра защитного газа в рублях;

$Н_{з.г.}$ – норма расхода используемого в предлагаемом варианте технологии защитного газа в литрах на 1 погонный метр шва.

Норма расхода вычисляется по зависимости:

$$H_{з.г.} = Y_{з.г.} \cdot L + Y_{доп} \quad (5.22)$$

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

$$Y_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_o \quad (5.23)$$

где $q_{зг} = 10$ л/мин;

t_o - вычисленное по формуле (5.2) время пайки шва.

$$Y_{з.г.} = 10 \cdot 1,62 = 16,2 \text{ л}$$

$Y_{доп.}$ – учитывает дополнительный расход газа на операции не связанные с формированием паяного шва, $м^3$.

$$Y_{доп} = t_{всп} \cdot q_{зг} \quad (5.28)$$

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

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

$$Y_{доп} = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ л.}$$

$$H_{з.г.} = 16,2 \cdot 0,687 + 0,5 = 11,62 \text{ л.}$$

$$З_{з.г.} = 0,011 \cdot 50 = 0,55 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта общая сумма расходов на вспомогательные материалы составит:

$$ЗМ_{пр} = 52,77 + 0,55 = 53,32 \text{ руб.}$$

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{КПД} Ц_{э-э} \quad (5.29)$$

где $P_{об}$ – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении паяного соединения, кВт;

$Ц_{э-э}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении паяного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении паяного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{обб} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^Б = \frac{3,6 \cdot 0,056}{0,7} \cdot 3,02 = 0,86 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{обпр} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^{ПР} = \frac{6,3 \cdot 0,027}{0,75} \cdot 3,02 = 0,68 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.30)$$

где $A_{об}$ – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{т.р}$ – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} \cdot На_{об} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.31)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$На_{об}$ – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{об}^Б = \frac{40000 \cdot 4,21 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,27 \text{ руб.}$$

$$A_{об}^{ПР} = \frac{70000 \cdot 2,00 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,23 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} \quad (5.32)$$

где $H_{т.р}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, $\approx 35\%$;

$$P_{тр}^{об} = \frac{40000 \cdot 35 \cdot 0,027}{1812 \cdot 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{тр}^{пр} = \frac{70000 \cdot 35 \cdot 0,012}{1812 \cdot 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$З_{об}^Б = 0,27 + 0,20 = 0,47 \text{ руб.}$$

$$З_{об}^{пр} = 0,23 + 0,16 = 0,39 \text{ руб.}$$

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

$$З_{плоч} = \frac{Ц_{плоч} \cdot S_{плоч} \cdot Ha_{плоч} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.33)$$

где: $Ц_{плоч}$ – цена 1 м^2 производственной площади, руб.;

$Ha_{плоч}$ – норма амортизационных отчислений на здания, %;

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

$$З_{плоч}^Б = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4,21}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$

$$З_{плоч}^{пр} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 2,00}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$

На следующем этапе определяем затраты по оплате труда
Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} \quad (5.34)$$

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

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

$$ЗПЛ_{ОСН} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (5.35)$$

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

$t_{шт}$ – штучное время, час;

$k_{зпл}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{пр} \cdot k_{вн} \cdot k_{у} \cdot k_{пф} \cdot k_{н} \quad (5.36)$$

где $k_{пр} = 1,25$ – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,12$ – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,087$ – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{пф} = 1,14$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,076$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,12 \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,076 = 1,79$$

$$ЗПЛ_{ОСН}^Б = 0,034 \cdot 95,2 \cdot 1,79 = 5,79 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{ОСН}^{ПР} = 0,016 \cdot 84,8 \cdot 1,79 = 2,43 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.37)$$

где $k_{д}$ – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 5,79 \cdot 10/100 = 0,57 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^{ПР} = 2,43 \cdot 10/100 = 0,24 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{Б} = 5,79 + 0,57 = 6,36 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{ПР} = 2,43 + 0,24 = 2,67 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$О_{сн} = \Phi ЗП \cdot Н_{соц} / 100 \quad (5.38)$$

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

Для базового варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{Б}} = 6,36 \cdot 30 / 100 = 1,90 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{ПР}} = 2,67 \cdot 30 / 100 = 0,80 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

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

$$C_{\text{ТЕХ}} = Z_{\text{М}} + Z_{\text{Э-Э}} + Z_{\text{ОБ}} + Z_{\text{ПЛ}} + \text{ФЗП} + O_{\text{CH}} \quad (5.39)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{Б}} = 98,48 + 0,86 + 0,47 + 0,015 + 6,36 + 1,90 = 108,085 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}} = 53,32 + 0,68 + 0,39 + 0,015 + 2,67 + 0,80 = 57,87 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.40)$$

где $P_{\text{ЦЕХ}}$ – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + k_{\text{ЦЕХ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad Z_{\text{ОСН}} \quad (5.41)$$

где $k_{\text{цех}}$ – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

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

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 108,085 + 5,79 \cdot 1,72 = 108,085 + 9,95 = 118,035 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 57,87 + 2,43 \cdot 1,72 = 57,87 + 4,17 = 62,04 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.42)$$

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

$k_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент заводских расходов, 1,8

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 118,035 + 5,79 \cdot 1,97 = 118,035 + 11,40 = 129,44 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 62,04 + 2,43 \cdot 1,97 = 62,04 + 4,78 = 66,82 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на пайку одного индуктора ТВЧ

Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
		базов	Проект
Материалы	ЗМ	98,48	53,32
Фонд заработной платы	ФЗП	6,36	2,67
Отчисления на социальные нужды	О _{СН}	1,90	0,80
Затраты на оборудование	З _{ОБ}	0,47	0,39
Затраты на площади	З _{ПЛ}	0,015	0,015
Затраты на электроэнергию	З _{Э-Э}	0,63	0,49
Себестоимость технологическая	С _{ТЕХ}	108,09	57,87
Цеховые расходы		11,50	3,82
Себестоимость цеховая	С _{ЦЕХ}	118,04	62,04
Заводские расходы		11,40	4,78
Себестоимость заводская	С _{ЗАВ}	129,44	66,82

5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости пайки индуктора, определим по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.43)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (129,44 - 66,82) \cdot 500 = 33280 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности и снижения стоимости присадочного материала, определим по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = [(C_{\text{зав}}^{\text{б}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{б}}) - (C_{\text{зав}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}})] \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.44)$$

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = [(129,44 + 0,33 \cdot 1,54) - (66,82 + 0,33 \cdot 40,34)] \cdot 500 = 24710 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штб}} - t_{\text{штпр}}}{t_{\text{штб}}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,034 - 0,016}{0,034} \cdot 100\% = 43\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.46)$$

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 43}{100 - 43} = 75\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\mathcal{E}_{\text{уг}}} \quad (5.47)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{28240}{33280} \approx 0,8 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{\text{ср}} = 1/T_{\text{ок}} = 1/0,8 = 1,25. \quad (5.48)$$

5.6 Выводы по разделу

Внедрение припоя с меньшей температурой плавления позволило уменьшить на 43% трудоемкость пайки одного индуктора ТВЧ, при увеличении производительности труда на 75%.

Планируемый размер годового экономического эффекта составит 24710 руб.

Для внедрения нового припойного материала потребуются финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 0,8 года.

С учетом полученных результатов расчетов можно сделать вывод о необходимости внедрения результатов бакалаврской работы в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для устранения главного недостатка базовой технологии – применения дорогостоящего и дефицитного припоя ПСр 45 и ПСр 25 – в работе было предложено использовать медно-фосфористый и оловянно-свинцовый припой. Разработана технология сборки-пайки индуктора ТВЧ, с учетом применения новых припоев, которая, в отличие от базовой, предполагает многоступенчатую пайку. Внедрена сборочная оснастка, которая позволяет повысить качество изделий за счет более точной сборки под пайку.

Предусмотрены мероприятия по защите здоровья и жизни производственного персонала и защите окружающей среды.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанного технологического процесса в производство составит 28240 рублей.

Задачи работы выполнены, цель сформулированная в разделе ВВЕДЕНИЕ – уменьшение трудоемкости и материальных затрат при производстве индуктора ТВЧ для закалки коленвалов достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Князьков, А.Ф. Исследование сварочно-технологических свойств покрытых электродов при сварке модулированным током / А.Ф. Князьков, В.Л. Князьков // Сварочное производство – 2011 - №10 - С. 15-18.
2. Мозок, В.М. Дополнительные особенности технологии дуговой механизированной и автоматической сварки с импульсной подачей электродной проволоки / В.М. Мозок // Сварочное производство – 2010 - №2 - С. 34-38
3. Гитлевич, А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
4. Лебедев, В.А. Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей сварочной проволоки / В.А. Лебедев // Сварочное производство – 2009 - №7 - С.10-14
5. Мозок, В.М. Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки / В.М. Мозок, В.А. Лебедев // Сварочное производство – 2007 - №6 - С. 31-34
6. Лебедев, В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки / А.В. Лебедев // Сварочное производство – 2007 - №8 - С. 30-35.
7. Павлов, Н.В. Сварка с импульсной подачей проволоки в смеси газов / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, Е.А. Зернин // Сварочное производство – 2010 - №4 - С.27-28
8. Жерносеков, А.М. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (обзор) / А.М. Жерносеков, В.В. Андреев // Автоматическая сварка – 2007 - №10. – С. 22-23
9. Жерносеков, А.М. Влияние вылета электрода на параметры шва при импульсно-дуговой сварке сталей / А.М. Жерносеков // Автоматическая сварка – 2004 - №8 – С. 12-15.

10. Щекин, В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов / В. А. Щекин. - Изд. 2-е, перераб. - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
11. Быковский, О.Г. Справочник сварщика / О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков М.: Машиностроение, 2011. – 336 с.
12. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учеб. пособие для вузов / М. Г. Козулин. - ТГУ; Гриф УМО. - Тольятти: ТГУ, 2010. - 306 с.
13. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов спец. 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» / М.Г. Козулин. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 77 с.
14. Шолохов, М.А. Эффективность эксплуатации инверторных источников питания / М.А. Шолохов, А.М. Фивейский, Д.С. Бузорина, Е.В. Лунина // Сварка и диагностика, 2012. № 3. С. 53–55.
15. Бранд, М. Высокая производительность и отличное качество MIG/MAG сварки // Марко Бранд, А.М. Фивейский. Состояние и перспективы развития сборочно-сварочного производства: сборник докладов международной научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2011. С. 71–78.
16. Крюков, А.В., Павлов Н.В., Зеленковский А.А. Особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки / А.В. Крюков, Н.В. Павлов, А.А. Зеленковский // Технология машиностроения. 2013. № 7. С. 30—31.
17. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение» / А.С. Климов. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 52с.
18. Ахтимиров, Н.Д. Технико-экономическое обоснование применения конструкции «труба в трубе» при строительстве и ремонте линейной

- части магистральных трубопроводов / Н.Д. Ахтимиров, В.Н. Лисин, В.М. Шарыгин // М. : ВНИИЭгазпром. – 1989, вып. 10.
19. Колганов, Л. А. Сварочное производство : учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 504 с.
20. Гончаров, Н.Г. Ремонт дефектов подводных участков трубопроводов композитными муфтами / Н.Г. Гончаров, Е.В. Лопатин, И.А. Другова и др. // Трубопроводный транспорт. – 2005. – № 2. – С.53–58.
21. Лебедев, В.А. Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке / В.А. Лебедев // Сварочное производство – 2008 - №8 - С.11-15
22. Щекин, В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов / В. А. Щекин. - Изд. 2-е, перераб. - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
23. Suganuma, K. Lead and the Electronic Industry: A Proactive Approach / K. Suganuma // Journal of National Center for Manufacturing Sciences. —1995. —№5. -Р. 50-54.
24. Шолохов, М.А. Эффективность эксплуатации инверторных источников питания / М.А. Шолохов, А.М. Фивейский, Д.С. Бузорина, Е.В. Лунина // Сварка и диагностика, 2012. № 3. С. 53–55.
25. Бранд, М. Высокая производительность и отличное качество MIG/MAG сварки // Марко Бранд, А.М. Фивейский. Состояние и перспективы развития сборочно-сварочного производства: сборник докладов международной научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2011. С. 71–78.
26. Zhao, J. Fatigue crack growth behavior of 96.5Sn-3.5Ag lead-free solder / J. Zhao, Y. Miyashita, Y. Mutoh // Int J Fatigue, -2004. -№23. -Р. 723-731.
27. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение» / А.С. Климов. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 52с.

28. Roos-Kozel, B. L. Parameters Affecting the Incidence of Pad Bridging in Surface Mounted Device Attachment / B. L. Roos-Kozel // ISHM. 1983. - Vol.6(1). - P. 251-255.
29. Dirnfeld, S.F. Microstructure Investigation of Copper-tin Intermetallics and the Influence of Layer Thickness on Shear Strength / S.F. Dirnfeld, J.J. Ramon // Welding Research Supplement. - New York, 1990. - P. 373-377.
30. Turbini, L.J. Impact of Higher Melting Lead-free Solders on the Reliability of Printed Wiring Assemblies / L.J. Turbini, W.R. Bent, W.J. Ready // SMTA International. -Chicago, 2000. -P. 20-24.