

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра « Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Оборудование и технология сварочного производства

(наименование направленности, специализации)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Исследование и разработка технологии изготовления
магнитострикционного преобразователя. Этап 2

Студент	И.С. Нестеренко (И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	А.Ю. Краснопевцев (И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	И.В. Дерябин (И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	И.В. Краснопевцева (И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	В.Г. Виткалов (И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	С.А. Гудкова (И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д-р.техн.наук, проф. В.В. Ельцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

Во многих отраслях используются ультразвуковые преобразователи. Широкое применение они нашли в соединении различных пластмасс и термопластичных материалов. Магнитостриктор является главной частью ультразвуковых установок. В настоящее время процесс его создания очень трудоемок, но современная наука и технологии позволяют упростить его.

Цель бакалаврской работы - снижение себестоимости изготовления магнитострикционного преобразователя.

В работе были решены следующие задачи:

1. Произведен опыт электроизоляции пластин путем оксидирования
2. Подобран производительный способ пайки магнитострикционного пакета с переходником
3. Разработаны рекомендации для технологического процесса изготовления магнитострикционного преобразователя

Пояснительная записка составлена на 58 страницах с 8 рисунками, с 21 таблицей, графическая часть включает в себя 6 листов с чертежами формата А1.

ABSTRACT

In this senior thesis, the main theoretical and practical issues related to the process of soldering and oxidation of a magnetostrictive converter are considered. The thesis consists of an explanatory note on 57 page, introduction to 1 page, including 8 drawings, 21 tables, a list of sources, including 5 sources in a foreign language, drawings on 6 sheets of A1 format. We begin with the formulation of the problem and then logically turn to its possible solutions. The task is to select a promising method for producing an electrically insulating film on soft magnetic materials and to select high-performance modes for it. Particular attention is paid to the effect of magnetostriction and possible thermal treatments that do not cause damage to it. Next, we find out that the electrical insulation of the plates must be plastic, since the magnetostrictive converter is compressed and stretched under the action of electromagnetic waves. This is the beginning of the search for an alternative method of isolating the plates of a magnetostrictive converter. The analysis of search carried out, pays special attention to oxidation, since it is possible to combine with other technological operations performed at high temperatures. Such as annealing. Which allows to obtain optimal characteristics of the alloy. Thus, these results lead to the conclusion that it is possible to replace the obsolete method of obtaining the electrical insulation of the magnetostrictive converter plates by more efficient, applying thermal oxidation in a container with a modified atmosphere.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	9
1.1 Описание конструкции.....	9
1.2 Свойства материала.....	13
1.3 Оксидирование сплавов на основе железа.....	13
1.3.1 Щелочное оксидирование.....	15
1.3.2 Термическое оксидирование.....	17
1.3.3 Оксидирование в среде водяного пара.....	19
1.4 Пайка железокобальтового сплава.....	20
1.5 Задачи второй части комплексной бакалаврской работы.....	22
2. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	24
2.1 Методика проведения экспериментов.....	24
2.2 Порядок проведения опыта.....	24
3. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОСТРИКТОРА.....	30
4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.....	33
5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ.....	43
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые технологии являются помощниками в науке, они применяются в исследованиях физических явлений и свойств веществ. Колебания ультразвука используются и в промышленности (для очистки, обезжиривания поверхности изделий, пайки и т. д.). В сварочном производстве также не обходится без применения ультразвука, например для контроля качества сварного соединения или для улучшения свойства сварного соединения путем воздействия при кристаллизации на сварочную ванну. Перспективным является ультразвуковая сварка пластмасс. Этот метод имеет ряд свойств, который позволяет получить соединения высокого качества на различных пластмассах, сварка которых невозможна или затруднена другими методами.

В ультразвуковых сварочных машинах основные элементы это источник питания, блок управления, механическая колебательная система. Главным элементом, обеспечивающим максимальный К.П.Д и срок службы прибора, является магнестрикционный преобразователь электрической энергии в механическую. Его работа построена на магнитоупругом эффекте. Пластины магнестрикционного пакета, подверженные воздействию магнитного поля, попеременно сокращаются и удлиняются, тем самым создавая волны ультразвука частотой равной частоте индукции катушки возбуждения. [1]

Процесс создания магнестрикционного преобразователя очень трудоемок и может проходить не один рабочий день, вследствие чего повышается его стоимость.

Таким образом, целью бакалаврской работы является удешевление изготовления магнестрикционного преобразователя, на базе которых собираются установки ультразвуковой пайки.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Описание конструкции

Сварка ультразвуком предназначена для выполнения прочных монолитных соединений различных материалов. Большое применение в промышленности она нашла для соединения изделий из пластмасс и разнообразных термопластичных материалов. Метод сварки ультразвуковой волной постепенно заменяет привычные способы, нагревом с помощью тепла постороннего теплоносителя или нагретого присадочного материала.[1]

Основные преимущества ультразвуковой сварки :

- 1) отсутствие необходимой предварительной подготовки поверхности
- 2) выделение тепла локально в зоне сварки, что ликвидирует перегрев материала
- 3) возможность сварки деталей из определенных пластмасс при удалении от точки ввода ультразвуковой энергии
- 4) возможность выполнить сварку соединения в труднодоступном месте
- 5) Быстрое протекание процесса сварки
- 6) не требуется защитная среда
- 7) не требуются дополнительные материалы [2]

Принцип работы ультразвуковой сварки основан на генерировании тепла в самом изделии (трение на молекулярном уровне) с помощью ультразвука и трения в соединении. Термопластичный материал поглощающий ультразвуковые колебания, делает это за счет внутреннего колебания молекулярных связей. В следствии происходит местное нагревание деталей свариваемого изделия и создание в нем неразъемного соединения. Сварка множества термопластичных материалов и пластмасс происходит при частоте 15-50 кГц, амплитуда колебаний 20-40 мкм, время сварки зависит от твердости, в среднем она составляет 1-9 секунд.[1]

Одним из представителей установки для сварки ультразвуком является

опытный образец Тольяттинского Государственного Университета. Он представлен на рисунке 1, изготовлен на базе магнестрикционного преобразователя. [3]



Рисунок 1.1 – Ультразвуковая установка для сварки пластмасс УЗУ-УУ-Р-001

Таблица 1.1 основные технические характеристики установки

Характеристика	Параметр
- Тип ультразвукового преобразователя	магнестрикционный
- Мощность нагревателя	85 Вт
- Напряжение питания	220 В
- Частота сети питания	50 Гц
- Рабочая частота	22 кГц
- Амплитуда колебаний	10-40 мкм
- Габаритные размеры волновода	Ø 50 x 330 мм
- Охлаждение	воздушное
- Габаритные размеры источника	285 x 360 x 180 мм

Ультразвуковая сварочная установка состоит из следующих узлов:

- источник питания
- аппаратура управления
- колебательной системы

Для питания электрических преобразователей используют источники электрической энергии — ультразвуковые генераторы, преобразующие энергию промышленной частоты в энергию ультразвуковой частоты (18—180 кГц). Можно также использовать для сварки частоты в пределах 0,8—2 МГц, обеспечивающих направленное излучение ультразвука.

Колебательной системе уделяют особое внимание, она является основой сварочной установки и преобразует энергию магнитного поля в ультразвуковую энергию. Действие преобразователя основано на том, что металлы из которых их изготавливают (кобальт, никель, железо) подвержены деформации при продольном расположении магнитного поля вокруг стержня. Воздействие магнитного поля способствует последовательному сокращению и удлинению стержня. Который в свою очередь передает эту энергию волноводу. Созданные волны ультразвука возбуждают в материале с которым он взаимодействует, волны ультразвука той же частоты. Таким образом процесс сварки, происходит от трения, вызванным микроскопическими возвратно поступательным перемещением частиц на трущихся поверхностях.[4]

Типовая колебательная система (рисунок 1.2) состоит из электромеханического преобразователя с обмотками 1, трансформатора упругих колебаний (волноводное звено) 2, сварочного акустического наконечника (излучателя ультразвука) 3, корпуса излучателя.

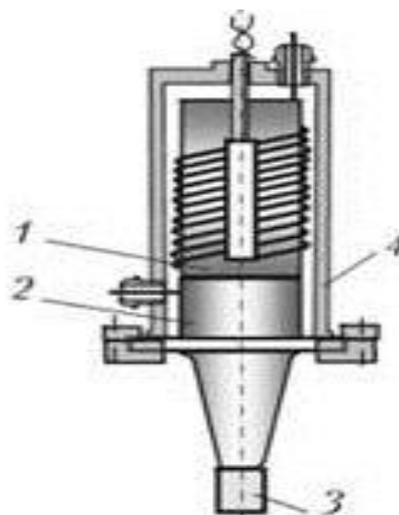


Рисунок 1.2 схема колебательной системы

1-магнитостриктор с катушками индуктивности, 2-волновод, 3- сварочный наконечник, 4- корпус

Трансформатор упругих колебаний является согласующим акустическим элементом между преобразователями и волноводом, и служит для согласования параметров преобразователя и волновода, а также для увеличения амплитуды колебаний на его выходном торце. Размеры излучающей пластины должны быть выбраны так чтобы внутреннее сопротивление преобразователя было согласовано с акустическим сопротивлением. В большинстве случаев используются ступенчатые трансформаторы упругих колебаний, имеющие наибольший коэффициент усиления, равный 4-6 (отношение амплитуды на выходе к амплитуде на торце). Трансформаторы изготавливаются из ст.45, 40Х и присоединяются к пакету преобразователя при помощи пайки припоями на основе серебра. С волноводами они соединяются с помощью резьбовых шпилек.[5]

Волновод-инструмент предназначен для усиления амплитуды смещения выходного торца трансформатора и передачи механической энергии от последнего к нагрузке - в данном случае к месту, где производится ультразвуковая сварка. Рабочий торец волновода может иметь

различную форму в зависимости от свариваемого изделия и вида ультразвуковой сварки (точечная, шовная). Усиление амплитуды смещения достигается применением сужающихся по определенному закону волноводов. Для сварки, в основном, применяются волноводы четырех типов: цилиндрические (ступенчатые), экспоненциальные, конические и катеноидальные. Коэффициент усиления у таких волноводов составляет порядка 5-10, при этом амплитуда на конце волновода при холостом ходе должна быть 30-40 мКм. Материал, предназначенный для изготовления волноводов и трансформаторов, должен обладать хорошими упругими свойствами, низким декрементом затухания, высокой усталостной прочностью, хорошей обрабатываемостью резанием и невысокой стойкостью. К таким материалам относятся ст45, 30ХГСА, 40Х, а также алюминиевые и титановые сплавы. [6]

1.2 Свойства материала

Перспективным материалом для магнитоотрицательных преобразователей является железокобальтовые сплавы в частности сплав 49К2Ф (пермендюр) где 49% Co, 49% Fe, 2% V. Он обладает самым большим магнитоотрицательным удлинением и самой высокой точкой Кюри. Но технология сборки преобразователя из этого сплава достаточно сложна. его выполняют в основном одно и двух стержневыми. Набирая из тонких 0,1 - 0,2 мм пластин магнитоотрицательного металла, что уменьшает потери на вихревые токи и магнитный гистерезис.[7]

Сплав 49К2Ф относится к магнитомягким материалам. При его производстве стараются исключить из его состава (таблица 1.2.1) все вредные примеси, для того что бы повысить его уникальные физические качества (таблице 1.2.2)

Таблица 1.2.1 - Химический состав 49К2Ф ГОСТ 10160-75

Fe	Si	Ni	Mn	C	Co	P	S	V
46.71	до 0.3	до 0.5	до 0.3	до 0.05	48 - 50	до 0.02	до 0.02	1.7

Таблица 1.2.2 - Физические свойства 49К2Ф ГОСТ 10160-7

Физическая величина	Единица измерения	Численное значение
Магнитная индукция насыщения	Тл	2,4
Магнитная проницаемость	Гн/м	8150
Твердость	HRC	35
Относительное удлинение	%	1/1

Данный сплав получают путем выплавки вакуумно-индукционного способа. Эта особенность дает сплаву способность намагнититься до полного насыщения при достаточно слабом магнитном поле.

Магнитные материалы подразделяют на два вида, магнитомягкие и магнитотвердые. Материал обладающий малой коэрцитивной силой но высокой магнитной проницаемостью относится к магнитомягким. Для них характерно наличие узкой петли гистерезиса. При перемагничивании сердечника из этого сплава потери будут минимальными. Магнитные свойства очень зависят от внешних механических воздействий. Особенно сильно от этой зависимости ухудшается начальная и максимальная проницаемость. Но применив термообработку магнитные свойства восстанавливаются до начальных показателей.

Благодаря возможности деформации кристаллической решетки под воздействием магнитного поля, в пермалое происходит эффект

магнитострикции. Понятие стрикция в переводе с латинского strictio - сжатие, натягивание. Относительное удлинение для сильно магнитных веществ достигает значения 10^{-3} - 10^{-4} . [8]

1.3. Оксидирование сплавов на основе железа

При сборке магнитострикционного пакета, пластины из которых он собирается подвергаются множеству обработок, для того что бы использовать весь потенциал магнитомягкого сплава. Одной из таких операций является изолирование пластин. В этой области подает большие надежды электроизолирование пластин оксидной пленкой. Так как она обладает достаточной пробивной прочностью и позволяет сохранить малые размеры магнитострикционного преобразователя.

Оксидная пленка - это пленка на поверхности металла или полупроводника. Она состоит из окислов (оксидов) этого материала. Толщина оксидных пленок может варьировать от нескольких диаметров молекул до нескольких десятков миллиметров. Её наличие на металле предохраняет его от коррозии. [9]

Оксидирование— создание оксидной плёнки на поверхности изделия или заготовки в результате окислительно-восстановительной реакции. в слегка окислительной среде или на воздухе. Основными видами оксидирования магнитомягкого металла является:

- химическое оксидирование
- термическое оксидирование

1.3.1 Щелочное оксидирование

Данный способ относится к химическому оксидированию. Процесс получения оксидных пленок происходит в растворе гидроксидов, нитратов, нитритов калия или натрия. Деталь на которой необходимо получить оксидное покрытие толщиной в 3-5 мкм, опускают в щелочной раствор,

обычно доведенный до кипения или приблизительно равной ей. Формирование пленки начинается с возникновения на поверхности металла её кристаллических зародышей. По мере того как окисел покрывает металл, изолируя его от воздействия раствора, уменьшается скорость образования пленки. Температура кипения раствора взаимно связана от концентрации щелочи в нем (таблица 1.3.1).

Таблица 1.3.1 - Составы растворов и температурный режим щелочного оксидирования металлов

Температура, °С	Концентрация компонентов, г/л			
	Гидроксид натрия	Нитрит натрия	Нитрат натрия	Тринарий- фосфат
1-123-155	600-700	200-250	-	-
2-135-155	600-700	200-250	50-80	-
3-135-145	600-650	-	100-200	-
4-125-135	500-600	50-100	50-100	-
5-135-155	700-800	75-125	75-125	-
6-135-145	600-700	120-160	-	60-80

Так при 800, 900, 1000 г/л NaOH, будет соответственно 142, 147, 152°С. Выдержка при определенной температуре рассчитывается индивидуально для каждой стали, по содержанию углерода.

Для образования пленок большой толщины возможно повысить концентрацию щелочи в растворе. Но при излишнем содержании щелочи на поверхности вероятно образование гидрата окиси железа, в виде рыхлого налета. При температуре кипения раствора 150-155°С образуются черного цвета, блестящие пленки. Повышение температуры до 163-165°С способствует формированию пленок черного, матового цвета. Добавление в

раствор нитритов способствует образованию блестящих покрытий, синего оттенка.

Раствор 1-2 универсальны, изменяя время выдержки возможна обработка высокоуглеродистых, низкоуглеродистых и среднелегированных сталей. А так же чугуна. Раствор 3 подходит для чугуна и кремнистых сталей. Раствор 4 используется для двух стадийной обработки. В начале в растворе 4 образуется слой толщиной не более 2мкм, затем деталь переключают в раствор 5, где происходит формирование более плотной и толстой пленки. Аналогично выполняется трех стадийное оксидирование в растворе 6 и 5. Производя повторную выдержку в растворе 5.[10]

1.3.2 Термическое оксидирование

Этот способ обеспечивает получение электроизоляционной пленки хорошего качества, без ухудшения магнитной характеристики сплава. Получение оксидной пленки на пластинах из пермендюра происходит при дополнительном (после отжига) нагреве в метрической печи при температуре от 400 до 800°C (в течение 30—51мин) с последующим ускоренным охлаждением на воздухе (под вентилятором). Отжиг трансформаторных пластин после выработки обычно производится в вакууме при температуре 1050-1200 °C в течение 3 ч, с медленным охлаждением. Степень разрежения должна быть не менее $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

В таблице 1.3.2 приведены оптимальные режимы термического оксидирования в зависимости от состава сплава и толщины материала.

Таблица 1.3.2 - Оптимальные режимы термического оксидирования

Марка	Толщина материала, мм	Режим оксидирования		Цвет оксидной пленки
		Температура, °С	Продолжительность, мин	
1	2	3	4	5
50НЧС	0,10	600-680	60	Серо-голубой, Матовый
	0,25-0,35	600-680	60	
79НМ	0,5	600-650	30	Розовато-лиловый, Блестящий
	0,10	680-700	40-60	
	0,25-0,35	680-700	60-90	
79НМА	0,1	600-620	40	Лилово блестящий

Для оксидирования применяется электрическая печь с автоматическим регулированием. Перепад температуры в зоне рабочего пространства печи не должен превышать 20—30°С.

При выполнении процесса оксидирования печь предварительно нагревают до температуры оксидирования. Подвески с пластинами устанавливают в два-три этажа на противень изготовленный из жаропрочной стали толщиной 0.5 мм. Возможен так же вариант загрузки пластин в контейнер с контролируемой атмосферой. Противень с деталями или контейнер помещают в печь и выдерживают согласно принятому режиму. После окончания выдержки противень извлекают из печи и охлаждают до комнатной температуры с помощью вентилятора или сжатого воздуха. Пластины из марки 79НМА охлаждают вместе с печью до 300-150°С а затем на воздухе. Цвет оксидированных деталей должен соответствовать указанному в табл.1.3.2 Цвета побежалости не допускаются. Следует

отметить, что в процессе оксидирования происходит насыщение его кислородом приводящее к увеличению твердости получающееся упрочнение повышает сопротивляемость пластин деформациям при сборке. Изучение магнитных свойств деталей из сталей 79НМ, 79НМА и 50НХС показало, что термическое оксидирование не только не ухудшает магнитные свойства пермаллоя но в ряде случаев повышает их.[11]

1.3.3 Оксидирование в среде водяного пара

Метод основан на получении на поверхности стальных деталей пленки окислов в результате воздействия высоких температур в атмосфере водяного пара. Процесс происходит при температуре изделий и пара в пределах 450—650°С и давлении пара 0,2-0,5 атм. Обработке паром подвергаются уже готовые детали, прошедшие термическую и окончательную механическую обработку. При нагреве до указанной температуры, поверхность стальных изделий под действием паров воды подвергается активному окислению, с образованием на поверхности пленки закиси и магнитной окиси железа, толщиной в пределах до 10 мкм. Коррозионная устойчивость такой пленки значительно выше, чем у покрытий, получаемых при оксидировании в щелочных растворах и другими способами. При ведении оксидирования на пониженных температурных режимах, имеется тенденция к образованию пленок из окиси железа, что приводит к резкому снижению антикоррозионной стойкости обрабатываемых изделий.

Обработку деталей паром производят во внутренней полости электропечи, в размещенный там стальной цилиндр, помещается контейнер (корзинка) с деталями. Поверхность стальных деталей, поступающих на оксидирование в среде водяного пара, должна быть очищена от пыли, песка, ржавчины, масла. Более точные детали, в том числе инструмент, с загрязненными поверхностями рекомендуется промывать в однопроцентным

водном растворе моноэтаноламина или в содо-нитритном растворе, содержащем 1.5% нитрита натрия, 0.3%, кальцинированной соды, при температуре 70—90°C.

После подготовки поверхности деталей, их укладывают в контейнеры (корзинки), стенки которых обтянуты сеткой или изготовлены из листовой стали, с большим количеством отверстий, через которые должен быть обеспечен снизу доверху свободный и равномерный проход пара по всему объему. По окончании загрузки контейнеров деталями и закрепления крышки цилиндра, так, чтобы исключалась возможность просачивания пара. Производится нагрев. Вначале печь нагревают до 100—350°C и выдерживают в течении 30—40 мин с целью полного нагрева деталей, после чего пускают пар, который удаляет воздух из рабочей зоны. Пар, подаваемый в печь, должен быть свободен от конденсата, в противном случае изделия будут покрываться бурым налетом окислов. Подняв температуру в печи до 550—650°C. детали выдерживают 1.5—2 ч в непрерывном потоке пара. Контейнеры с деталями после отключения печи вынимают и охлаждают до 120—150° С на воздухе, затем, для дополнительного повышения коррозионной стойкости детали погружают в минеральное масло, предварительно обработав их в подогретом до 95—100°C 0.5% растворе мыла, что улучшает смачиваемость поверхности металла маслом.[12]

1.4 Пайка железокобальтовых сплавов

Магнитострикционный преобразователь, из-за невозможности использования цельного сердечника из магнитомягкого материала, набирают из тонких пластин, одинакового размера. Один из торцов которого соединяется с трансформатором упругих колебаний, таким образом, что бы исключить потери в передачи энергии. Соединение этих элементов в результате особенности магнитострикционного пакета не поддается сварке традиционными способами. Простым решением этой задачи является

применение пайки. Для того, что бы не нанести вред структуре пластин магнитострикционного пакета, следует производить пайку за короткий промежуток времени, используя при этом локальный нагрев. Наилучшим образом в таких целях, зарекомендовала пайка в индукционных установках.[13]

Для пайки железокобальтового сплава необходимо применять припой которые способны обеспечить достаточную смачиваемость и заполнение мелких зазоров, обладающие оптимальной температурой плавления (таблица 1.4.1). для двух соединяемых сплавов железокобальта и стали 40.

Таблица 1.4.1 - Химический состав припоев ГОСТ 19738

Марка припоя	Химический состав , %						
	Ag	Cu	Zn	Ni	Cd	Примеси	
						Fe	Pb
ПСр 45	45±0,5	30±0.5	0.07	-	-	0.10	0.050
ПСр 40	40±1,0	16.7±0.7	17±0.8	0.3±0.2	0.06		

Для соединения деталей подверженных тяжелым вибрационным воздействиям и ударным нагрузкам используют припой ПСр40 и ПСр-45, потому, что они могут обеспечить высокий уровень пластичности и качества получаемого шва. Основным элементом этих припоев является серебро, цинк, медь, никель и свинец. Процентное соотношение которых указано в таблице 1.4.2. [14]

Таблица 1.4.2- Основные характеристики припоев ГОСТ 19738

Марка припоя	Плотность, Кг/м ³	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление, 10 ⁻³ Ом м
ПСр 45	9100	730-665	10
ПСр 40	9250	610-590	7

Максимальная температура плавления данных припоев составляет 730°С, что значительно меньше сплавов соединяемых деталей. А значит будут выполняться благоприятные условия во время пайки магнитострикционного преобразователя.

Место соединяющееся пайкой необходимо защитить от воздействия внешней среды а также очистить от оксидов на поверхности материала. Для таких целей перед пайкой на детали наносят флюс. Важным критерием выбора становится его сочетание с припоем. Потому, что температура плавления флюса не должна быть выше температуры плавления припоя. Согласно ГОСТ ТУ 48-17228138, перед пайкой припоем ПСр 45, рекомендуется применять флюс ФК-250.[15]

1.5 Задачи второй части комплексной бакалаврской работы

В первой части комплексной работы был произведен анализ возможных способов термической обработки и полученной при этом структуры железокобальтового сплава. На основании полученных результатов, было принято решение производить оксидирование в модифицированной воздушной среде в контейнере.

На данный момент технология изготовления магнитострикционного преобразователя включает в себя, несколько последовательно выполняющихся термических операций. Выполнение которых требует значительного количества времени, что экономически не выгодно и увеличивает стоимость изделия. На основании этого задачами работы стали:

1. Исследование окисления железокобальтового сплава в модифицированной воздушной среде
2. Разработка технологического процесса термической обработки и пайки магнитострикционного преобразователя.

2 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Методика проведения экспериментов

На основании проведенного анализа способов получения оксидной изоляции на высоколегированных сталях было принято решение производить высокотемпературное оксидирование в контейнере с модифицированной воздушной средой, которое позволяет получать на поверхности пленку необходимой толщины и исключает затраты на использование дорогостоящего оборудования и его содержание. Для проведения эксперимента был подобран экспериментальный режим (таблица 2.1.1)

Таблица 2.1.1.- Экспериментальные режимы оксидирования

Марка сплава	Способ оксидирования	Нагрев	Выдержка	Охлаждение
49К2Ф	Термический, в модифицированной среде контейнера	Вместе с печью до 850 °С, за 90 минут	30 минут при 850 °С	С печью

2.2. Порядок проведения опыта

Пластины для опыта были предоставлены заказчиком и не требовали дополнительных обработок.

1. Обезжиривание пластин ,производилось раствором технического ацетона, до устранения с поверхности нежелательных загрязнений.

2. Сборка. Пластины в количестве 92 штук собираются в один пакет, с помощью приспособления для сборки (рисунок 2.2.1), но стягивающие болты должны быть ослаблены, что бы обеспечить поступление воздуха между

пластинами. Приспособление состоит из двух пластин на которых выполнено 4 технологических отверстия и двух болтов с гайками.



Рисунок 2.2.1 -Приспособление для сборки

Собранная конструкция (рисунок 2.2.2) укладывается в количестве трех штук в контейнер (рисунок 2.2.3), на дно которого насыпается 6 грамм древесно-угольного карбюризатора.



Рисунок 2.2.2 - Магнитострикционный пакет в сборочном приспособлении



Рисунок 2.2.3 - Контейнер

Контейнер с образцами закрывается крышкой, а в затвор между внешней стенкой контейнера и стенкой крышки насыпается сначала древесно-угольный карбюризатор, а затем песок в соотношении 1 к 2, для получения в контейнере необходимой окислительной среды.

3. Оксидирование. После сборки и укладки пакетов, контейнер помещают в высокотемпературную печь "СНОЛ 6/12" (рисунок 2.2.4).



Рисунок 2.2.4 - Печь лабораторная СНОЛ 6/12

Нагрев до 850°C производится за 130 минут, а затем выдерживается 30 минут при той же температуре. После чего выполняется отключение питания печи и начинается охлаждение контейнера в установке. Оно длится около 8 часов до 100°C. Затем они охлаждаются до комнатной температуры на воздухе.

4. Контроль. Произведенный визуальный осмотр пластин магнито-стриктора показал, что на их поверхности образовалась равномерная пленка, однородного матово черного цвета. Попытка стереть её ветошью закончилась неудачей. Что говорит об удачном проведении опыта, это подтвердили и микрошлифы случайно выбранных образцов (рисунки 2.2.5, 2.2.6)



Рисунки 2.2.5, 2.2.6- Микрошлифы образцов

На них отчетливо видно неравномерную пленку тянущуюся по краю образца. На всей ее протяженности отсутствуют поры и разрывы. Ее примерная толщина составляет 8 мкм.

Полученные данные полностью устраивают заказчика, и были отданы ему для проведения дальнейших испытаний электрофизических свойств, таких как сопротивление электрическому току, механическая прочность.

Выводы по главе:

Полученные результаты показали что экспериментальные режимы были подобраны правильно, но для получения на поверхности пленки большей толщины необходимо произвести корректировку режима и дополнительные опыты.

Экспериментальные результаты первой части комплексной работы по отжигу пластин из железокобальтового сплава, дали данные от том что

с изменением структуры, на поверхности пластин происходит образование видимой, не сплошной оксидной пленки. На основании этого можно предположить, что в выполнив объединение, двух родственных операций, можно достичь положительного эффекта.

3. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Основываясь на мировой опыт создания магнитострикционных преобразователей, произведенные исследования в первой и второй частях выпускной бакалаврской работы, а также учесть условие, что предварительно наборные пластины, будут иметь необходимые геометрические параметры, а поверхность механически обработана под дальнейшие операции, и произведен термический отжиг, то можно предложить следующие рекомендации для технологического процесса.

Основные операции технологического процесса

1. Обезжиривание

Пластины в количестве 92 помещают в ванну ультразвуковой установки Dgm qx-1200, и заливают трихлорэтиленом. Очистка происходит при температуре раствора 25-40°C, частоте колебаний 20 кГц, на протяжении 5-10 минут, в зависимости от загрязнений поверхности. После операции пластины необходимо промывать проточной водой и просушивать в подвешенном состоянии, таким образом, что бы пластины не прилипали друг к другу.

2. Сборка

Пластины собираются в приспособлении для сборки .между двух пластин, стягивая болтами таким образом что бы обеспечить поступление воздуха. Далее конструкция укладывается в контейнер на дне которого находится 6 грамм древесноугольного карбюризатора. Контейнер закрывается крышкой, а в затвор между внешней стенкой контейнера и стенкой крышки насыпается сначала древесно-угольный карбюризатор, затем песок в соотношении 1 к 2.

3. Оксидирование

Контейнер с пластинами помещают в высокотемпературную печь СНОЛ 6/12 и производят нагрев. Сначала температура в печи поднимается до 850°C за 90 минут, после ,на этой же температуре происходит выдержка в течении 30 минут .Затем выключается питание нагревательных элементов и пластины начинают постепенно охлаждаться на протяжении 8 часов до 100 °С. Далее вынимают контейнер из печи, снимают крышку позволяя остыть пластинам до комнатной температуры на воздухе.

4. Контроль качества

Пластины освобожденные от сборочного приспособления осматривают на предмет целостности полученной пленки, глубины и однородности её цвета. Он должен быть матово черным. Для этого цвет полученных пластин сравнивают с контрольным образцом. Так же необходимо потереть ветошью поверхность пластины, пленка должна быть устойчивой к механическим воздействиям. Если эти условия не выполняются то проводят повторное оксидирование на жестких режимах, так как первоначальная оксидная пленка уже имеется на поверхности.

5. Сборка

Пластины прошедшие контроль оксидной пленки снова собираются в сборочном приспособлении, таким образом что бы края пластин выступали друг относительно друга не более чем на 0,2 мм. Но отступая от одного края не менее 15мм для обеспечения подачи припоя в зону пайки Правильно выставив все пластины магнитоотрижционного пакета их стягивают болтами с усилием 52Нм между двух пластин повторяющими контур пакета.

6. Обезжиривание

Место будущего соединения магнитоотрижционного пакета и переходника волновода обезжиривают раствором технического ацетона. Протирая пропитанной растворителем ветошью участок соприкосновения, до

очистки поверхности от загрязнений. Затем необходимо просушить детали положив на чистую поверхность.

7. Пайка

Нагрев происходит в индукционной установке Сэлт-001-15, на торец собранного пакета насыпается флюс ФК-250, затем пакет нагревается в индукторе до полного расплавления флюса и достижения температуры (по показаниям пирометра Elitech П 350) 700-750 градусов. Далее к нагретой поверхности подносится пруток припоя ПСр45. расплавляясь он облуживает торец пакета пластин. Аналогично этой схеме облуживается переходник. После этого пакет пластин и переходник собираются по облуженным поверхностям и паяется при той же температуре до формирования паянного соединения (на границе стыка образуется галтель).

8. Визуальный контроль

Охлажденная паянная деталь осматривается визуально с помощью лупы с увеличением 5х, при освещении не менее 500 лк. Наличие пор, раковин, флюсовых включений а так же трещин не допустимо.

Вывод: так как опыты проведения отжига в модифицированной среде не дали положительных результатов, были составлены предложенные рекомендации технологического процесса без рассмотрения замены вакуумного отжига альтернативным способом. В предложенном технологическом процессе используются более производительные способы и оборудование по сравнению с классическим методом изготовления магнестрикционного преобразователя. Что значительно снижает время на изготовление одного изделия и затраты на электроэнергию.

4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В технологический процесс изготовления магнитострикционного преобразователя состоит из следующих операций.

- 1) Очистка заготовок
- 2) Подготовка к термической обработке
- 3) Термическая обработка и оксидирование
- 4) Контроль качества
- 5) Сборка
- 6) Пайка
- 7) Контроль качества

Все операции производятся на одном участке, на котором расположено все необходимое технологическое оборудование.

- 1) Высоко температурная печь
- 2) Индукционная установка для пайки

Технологический процесс изготовления магнитострикционного преобразователя связан с различными угрозами для здоровья работника, вызванными разными всевозможными факторами, которые имеют все шансы ограничить трудоспособность или полностью лишить её в зависимости от стечения обстоятельств или интенсивности действия.

Таблица 4.1 – Технологический паспорт технического объекта

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего	Оборудование устройство, приспособления	Материал, вещества
1.Обезжиривание	Заготовщик	Dgm qx-1200 ультразвуковая установка	Трихлорэтилен, вода

Продолжение таблицы 4.1

2. Термическая обработка и оксидирование	Термист	Печь ВТП-3000, контейнер с контролируемой	Перчатки
3. Контроль качества	Дефектоскопист	Лупа 5 крат	Перчатки
4. Сборка	Сборщик	Сборочная струбцина	Перчатки, гаечные ключи
3. Пайка	Паяльщик	Индукционная установка Сэлт-001-15	Флюс ФК250; Припой ПСР45
4. Контроль качества	Дефектоскопист	Лупа 5 крат	Перчатки

Идентификация персональных рисков

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Обезжиривание	- Острые, тонкие кромки пластин заготовок, - Попадание на поверхность кожи или глаза, моющего	Трихлорэтилен, вода

Продолжение таблицы 4.2

2. Термическая обработка и оксидирование	<ul style="list-style-type: none"> - Острые, тонкие кромки пластин заготовок, инструментов и оборудования; -Подвижные части производственного оборудования - - Высокое значение температуры поверхности оборудования, 	Печь ВТП-3000
3.Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - Острые, тонкие кромки пластин заготовок - Недостаточное освящение - Завышенное содержание пыли и газов в воздухе рабочего пространства 	
4.Сборка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, загазованность воздуха 	Инструмент и приспособление для сборки
3.Пайка	<ul style="list-style-type: none"> - Острые, тонкие кромки пластин заготовок - Высокое значение температуры нагревательного элемента и заготовки - высокое значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - завышенное значение электромагнитного излучения установки. 	Индукционная установка Сэлт-001-15

Продолжение таблицы 4.2

4. Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - Острые, тонкие кромки пластин заготовок - Недостаточное освящение - Завышенное содержание пыли и газов в воздухе рабочего пространства 	
----------------------	--	--

Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3
1. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда
2.- Движущиеся части машин и механизмов; подвижные части производственного оборудования	Предостерегающие надписи, соответствующая окраска, ограждения	- Перчатки, спецодежда. спец обувь

Продолжение таблицы 4.3

3.- Высокое значение температуры поверхности оборудования, материалов	Инструктаж по технике безопасности	-
4.-Высокое значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека завышенное значение электромагнитного излучения установки.	Подключать установку к электрической сети через защитное зануление или защитное отключение от электрической сети. Производить контроль частый изоляции с	Перчатки, спецодежда. спец обувь
5.-Попадание на поверхность кожи или глаза, моющего средства	Инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки; очки защитные

Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5	6
1	Участок термической обработки	Печь ВТП-3000	Е	Искры и пламя	Вынос высокого напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий

Продолжение таблицы 4.4

2	Участок пайки	Индукционная установка Сэлт-001-15	Е	Искры и пламя	Вынос высокого напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий
---	---------------	------------------------------------	---	---------------	---

Таблица 4.4–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	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Ящики с песком, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили	Воздушная установка	Системы передачи извещений	Краны пожарные напорные пожарные рукава УВП-250	Средства индивидуальной защиты дыхательных органов и зрения	Лопата, багор, топор	Телефон, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок пайки	Печь ВТП-3000, Индукционная установка Сэлт-001-15	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная	вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; термохимическое воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей при

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические)

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности.
-Термическая обработка и оксидирование. -Пайка магнитострикционного пакета.	-Обучение рабочего персонала и служащих правилам пожарной безопасности, -применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности -выполнять надзор во время работы	-На участке должно быть установлены первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, -установлен порядок отключения установок от электрической сети

Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Таблица 4.7. – Идентификация негативных экологических факторов технического объекта.

Наименование технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Изготовление магнитострикционного преобразователя	-Обезжиривание -Термическая обработка и оксидирование -сборка -пайка	газообразные частицы веществ	Трихлорэтилен, вода	Производственный мусор

Таблица 4.8 –Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта		Изготовление магнитострикционного преобразователя
Мероприятия по снижению воздействия литосферу	по на	установка контейнеров для сбора бытового мусора производственных отходов, отдельный контейнер для металлолома, надлежащими надписи на них, инструктаж производственного персонала, как правильно складывать в контейнера мусор. отходы.
Мероприятия по снижению воздействия гидросферу	по на	Уменьшить сбрасывание сточных вод, за счет организации малоотходной технологий; ввести системы с замкнутым оборотом водоснабжения; производить принудительную чистку сточных вод производства
Мероприятия по снижению воздействия атмосферу	по на	Оборудовать очистное оснащение для улавливания вредных веществ. Установить предельно допустимое значение вредных веществ в атмосферном воздухе, значение которого не будет влиять на здоровье человека.

Заключение по разделу Безопасность и экологичность

1. Выполнив данный раздел был определен ряд экологических факторов влияние которых наносит вред окружающей среде и человеку, во время изготовления магнитострикционного преобразователя.

2. Произведен анализ возможного устранения или их уменьшения, который показал, для их устранения будет достаточно использование базовых средств .Применение которых обеспечит безопасность и выполнение санитарных норм работающих на техническом объекте
3. Разработанн организационно техническое мероприятие по снижению профессионального риска. Подобранны средства индивидуальной защиты для работающих.

5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ

Таблица 5.1 - Исходные данные по работе

Наименование показателей	Базовый вариант	Проектный вариант
Норма расхода основного металла на изделие, кг	0,12	0,12
Цена основного металла, руб./кг	480	480
Цена припоя, руб./кг	2300	2300
Цена флюса, руб./кг	1100	920
Цена оборудования	93000	177 000

Расчет времени на изготовление одной единицы изделия.

$$t_{шт} = t_{n-3} + t_o + t_{\text{в}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{н.н} \quad (1)$$

где t_{n-3} – подготовительно-заключительное время, учитывается только в мелкосерийном и единичном производствах; $t_{n-3} = 0,05\%$ от t_o , в остальных типах производства величиной t_{n-3} пренебрегают;

$t_o = t_m$ – основное (машинное) время. Для процесса пайки – это время работы оборудования (время нагрева выдержки изделия),

$t_{\text{в}}$ – вспомогательное время $t_{\text{в}} = 5-25\%$ от t_o , в зависимости от особенностей технологического процесса;

$t_{\text{отл}}$ – время на отдых и личные надобности $t_{\text{отл}} = 5\%$ от t_o ;

$t_{\text{обсл}}$ – время обслуживания рабочего места $t_{\text{обсл}} = 8\%$ от t_o ;

$t_{н.п.}$ – время неустранимых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, определяется по картам технологического процесса.

Таблица 5.2–Трудоемкость базового технологического процесса

Операции	$t_{в}$	$t_{о}$	$t_{пз}$	$t_{обсл.}$	$t_{отл.}$	$t_{шт}$
Подготовка поверхности	1,87	17	0,01	1,36	0,85	22
Сборка	2,53	23	0,01	1,84	1,15	28,5
Пайка	26,4	240	0,12	19	12	297,5
Контроль качества	1,54	14	0,01	1,12	0,7	17,4
Итого:						365,3

Таблица 5.3 – Трудоемкость проектного технологического процесса
(вариант 2)

Операции	$t_{в}$	$t_{о}$	$t_{пз}$	$t_{обсл.}$	$t_{отл.}$	$t_{шт}$
Подготовка поверхности	1,87	17	0,01	1,36	0,85	22
Сборка	2,53	23	0,01	1,84	1,15	28,5
Пайка	6	30	0,02	2,4	1,5	40
Контроль качества	1,54	14	0,01	1,12	0,7	17,4
Итого:						107,8

Капитальные вложения в оборудование

где: $K_{пр}$ – прямые капитальные вложения в оборудование, руб.;

где: $K_{пр}$ – прямые капитальные вложения в оборудование, руб.;

$K_{соп}$ – сопутствующие капитальные вложения в оборудование, руб.

Прямые капитальные вложения рассчитываются для двух сравниваемых вариантов (базовый-1 и проектный-2) по формуле:

$$K_{пр1} = n_{об1} \cdot Ц_{об} \cdot k_3 = 2,3 \cdot 93000 \cdot 1,3 = 278070 \text{ руб. (2)}$$

$$K_{пр2} = n_{об2} \cdot Ц_{об} \cdot k_3 = 0,7 \cdot 175000 \cdot 0,7 = 85750 \text{ руб. (3)}$$

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Количество единиц оборудования, необходимого для выполнения принятой программы изготовления изделий рассчитывается по формуле:

$$n_{об.расчетн}^1 = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт1}}{\Phi_{эф} \cdot 60} = \frac{1569 \cdot 365,3}{4060 \cdot 60} = 2,3 \text{ (4)}$$

$$n_{об.расчетн}^2 = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт2}}{\Phi_{эф} \cdot 60} = \frac{1569 \cdot 107,8}{4060 \cdot 60} = 0,7 \text{ (5)}$$

где: $N_{пр}$ – программа выпуска изделий, 1569 шт.;

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

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

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

Для этого $n_{об.расчетн}$ округляем до ближайшего целого большего числа.

Коэффициент загрузки оборудования рассчитывается по формуле:

$$k_3^1 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} = \frac{2,3}{2} = 1,3 \text{ (6)}$$

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,7}{1} = 0,7(7)$$

Фонд времени работы сварочного оборудования может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi_{\text{эф.}} \cdot (D_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{см.}} \cdot D_{\text{пред.}} \cdot T_{\text{сокр.}}) \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) = (277 \cdot 8 - 8 \cdot 7) \cdot 2 \cdot (1 - 0,06) = 4060(8)$$

где: D_K – количество календарных дней в году;

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

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

$T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, час;

S – количество рабочих смен;

$k_{\text{р.п}}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

Затраты на материалы.

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}} = 57,2 + 11,5 = 68,7 \text{ руб.}(9)$$

Расход основных и вспомогательных материалов определяют на основании чертежа и карт технологического процесса, нормативных справочников и стандартов предприятия.

$ЗМ_{\text{осн}}$ - затраты на основной материал, руб

$ЗМ_{\text{всп}}$ - затраты на флюс, газ, покрытие, материалы для обезжиривания, руб

Расчет ведем только по применяющимся статьям.

$$ЗМ_{\text{всп}} = 0,2 \cdot ЗМ_{\text{осн}} = 0,2 \cdot 57,2 = 345,6 \text{ руб.}(10)$$

при пайке норма расхода припоя на одну деталь рассчитывается по

$$\text{формуле: } H_{\text{н.д.}} = Q_{\text{н.д.}} \cdot \frac{100 + \alpha}{100} = 0,066 \cdot \frac{100 + 3}{100} = 0,68 \text{ руб.}(11)$$

где $Q_{\text{н.д.}}$ – масса припоя, наносимого на одну деталь при сборке под пайку, г;

α – процент угара и безвозвратных потерь припоя при пайке

$$Q_{n.д.} = a \cdot b \cdot \rho \cdot \varphi \cdot L_{п.ш} = 0,02 * 0,5 * 0,1 * 40,3 = 0,04 \text{ руб. (12)}$$

где a – величина сборочного зазора;

b – ширина шва;

ρ – плотность припоя;

$L_{п.ш}$ – длина паяного шва;

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

Затраты на технологическую энергию при пайке определяют исходя из режимов пайки и технологических характеристик оборудования.

Для пайки затраты на электроэнергию рассчитывают исходя из полезной мощности оборудования:

$$Z_{э-э} 1 = \frac{P_{об} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} = \frac{4,6 * 365,3}{0,6 * 60} 3,5 = 161 \text{ руб. (13)}$$

$$Z_{э-э} 2 = \frac{P_{об} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} = \frac{5,4 * 107,8}{0,73 * 60} 3,5 = 46,5 \text{ руб. (14)}$$

где $P_{об}$ – полезная мощность оборудования кВт;

t_0 – основное (машинное) время работы оборудования;

η – коэффициент полезного действия оборудования

3.4. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

$$Z_{об} 1 = A_{об} + P_{т.р} = 19,5 + 10,4 = 29,9 \text{ руб. (15)}$$

$$Z_{об} 2 = A_{об} + P_{т.р} + Z_{в.тех} = 11 + 10,6 + 175 = 196,6 \text{ руб. (16)}$$

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

$P_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

$Z_{в.тех}$ – затраты на воду техническую;

Затраты на амортизацию оборудования

$$A_{об.1} = \frac{Ц_{об} * Ha_{об} * t_{ум}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} = \frac{93000 * 14 * 365,3}{4060 * 60 * 100} = 19,5 \text{ руб. (17)}$$

$$A_{об.2} = \frac{Ц_{об} * Ha_{об} * t_{ум}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} = \frac{177000 * 14 * 107,8}{4060 * 60 * 100} = 11 \text{ руб. (18)}$$

где: $Ц_{об}$ – цена используемого с оборудования для пайки, руб.;

$Ha_{об}$ – норма амортизационных отчислений на оборудование,

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{т.р.1} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_3^1}{\Phi_{эф} * 100} = \frac{93000 * 35 * 1,3}{4060 * 100} = 10,4 \text{ руб. (19)}$$

$$P_{т.р.2} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_3^2}{\Phi_{эф} * 100} = \frac{177000 * 35 * 0,7}{4060 * 100} = 10,6 \text{ руб. (20)}$$

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

Затраты на воду, идущую на охлаждение оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{в.тех} = H_{в.тех} * Ц_{в.тех} * t_{ум} = 15 * 11 = 175 \text{ руб. (21)}$$

где $Ц_{в.тех}$ – норма расхода воды технической на одно изделие, м³/час;

$H_{в.тех}$ – цена 1 м³ воды технической, руб.

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$З_{плоч.1} = \frac{Ц_{плоч} * S_{плоч} * Ha_{плоч} * t_{ум} * k_3}{100 * N_{Г}} = \frac{2200 * 70 * 3 * 4,5 * 1,3}{100 * 1569} = 147,8 \text{ руб.}$$

$$(22) З_{плоч.2} = \frac{Ц_{плоч} * S_{плоч} * Ha_{плоч} * t_{ум} * k_3}{100 * N_{Г}} = \frac{2200 * 55 * 3 * 4,5 * 0,7}{100 * 1569} = 79,5 \text{ руб.}$$

(23)

$Ц_{плоч}$ – цена 1 м² производственной площади, руб.;

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

$S_{\text{плоч}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м² ;

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Фонд заработной платы (ФЗП) производственных рабочих состоит из основной и дополнительной заработной платы.

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}1} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}1} = 801 + 64 = 865 \text{ руб. (24)}$$

$$\text{ФЗП}2 = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}2} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}2} = 405 + 33 = 438 \text{ руб. (25)}$$

Основная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}1} = C_{\text{ч}} * t_{\text{шт}} * k_{\text{зпл}} = 70 * \frac{365,3}{60} * 1,88 = 801 \text{ руб. (26)}$$

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}2} = C_{\text{ч}} * t_{\text{шт}} * k_{\text{зпл}} = 120 * \frac{107,8}{60} * 1,88 = 405 \text{ руб. (27)}$$

где: $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка, руб./час;

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

$$k_{\text{зпл}} = k_{\text{пр}} * k_{\text{в.н}} * k_{\text{у}} * k_{\text{пф}} * k_{\text{н}} = 1,88 \text{ руб. (28)}$$

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

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

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

$k_{\text{пф}} = 1,067$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{\text{н}} = 1,133$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены

Дополнительная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле:

$$ЗПЛ_{доп}^1 = \frac{k_{\partial}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн}^1 = \frac{8}{100} 801 = 64 \text{ руб. (29)}$$

$$ЗПЛ_{доп}^2 = \frac{k_{\partial}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн}^2 = \frac{8}{100} 405 = 33 \text{ руб. (30)}$$

где K_{∂} – коэффициент соотношения между основной и дополнительной заработной платой, принят в %,

К дополнительной заработной плате относятся выплаты работникам предприятия за фактически не отработанное время: это оплата очередных и дополнительных отпусков, оплата сокращенного рабочего дня, выполнения государственных обязанностей и т.п., в соответствии с действующим законодательством.

Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$O_{с.н.}^1 = \frac{N_{соц} \cdot \Phi ЗП1}{100} = \frac{30 \cdot 865}{100} = 260 \text{ руб. (31)}$$

$$O_{с.н.}^2 = \frac{N_{соц} \cdot \Phi ЗП2}{100} = \frac{30 \cdot 438}{100} = 131 \text{ руб. (32)}$$

где $N_{соц}$ – норма отчислений на социальные нужды = 30%.

Технологическая себестоимость изделия

(рассчитывается по двум сравниваемым вариантам)

$$C_{тех}^1 = 3M + 3_{э-э}^1 + 3_{об}^1 + 3_{площ}^1 + \Phi ЗП1 + O_{с.н.}^1 = 68,7 + 161 + 147,8 + 29,9 + 260 + 865 = 1534,9 \text{ руб. (33)}$$

$$C_{тех}^2 = 3M + 3_{э-э}^2 + 3_{об}^2 + 3_{площ}^2 + \Phi ЗП2 + O_{с.н.}^2 = 68,7 + 46,5 + 79,5 + 196,6 + 438 + 33 = 862 \text{ руб. (34)}$$

Цеховая себестоимость изделия

$$C_{цех}^1 = C_{тех}^1 + P_{цех}^1 = 1534 + 2002 = 3536 \text{ руб. (35)}$$

$$C_{цех}^2 = C_{тех}^2 + P_{цех}^2 = 405 + 1012 = 1417 \text{ руб. (36)}$$

где $P_{цех.}$ – цеховые (общепроизводственные) расходы, руб.

Цеховые (общепроизводственные) расходы относятся к косвенным затратам на изготовление продукции, это накладные расходы по управлению цехом и его обслуживанию.

$$P_{цех1} = k_{цех} \cdot ЗПЛ_{осн.1} = 2,5 * 801 = 2002 \text{ руб. (37)}$$

$$P_{цех2} = k_{цех} \cdot ЗПЛ_{осн.2} = 2,5 * 405 = 1012 \text{ руб. (38)}$$

где $K_{цех}$ – коэффициент цеховых (общепроизводственных) расходов = 2,5.

Заводская себестоимость:

$$C_{зав1} = C_{цех1} + P_{зав1} = 3536 + 1442 = 4978 \text{ руб. (39)}$$

$$C_{зав2} = C_{цех2} + P_{зав2} = 1417 + 729 = 2146 \text{ руб. (40)}$$

где $P_{зав}$ – заводские (общехозяйственные) расходы, руб.

Заводские (общехозяйственные) расходы относятся к косвенным затратам на изготовление продукции, это накладные расходы по управлению производством продукции на предприятии и обслуживанию предприятия.

$$P_{зав1} = k_{зав} * ЗПЛ_{осн.1} = 1,8 * 801 = 1442 \text{ руб. (41)}$$

$$P_{зав2} = k_{зав} * ЗПЛ_{осн.2} = 1,8 * 405 = 729 \text{ руб. (42)}$$

где $k_{зав}$ – коэффициент заводских (общехозяйственных) расходов = 1,8.

Полная себестоимость изделия

$$C_{полн1} = C_{зав1} + P_{вн1} = 4978 + 248 = 5226 \text{ руб. (43)}$$

$$C_{полн2} = C_{зав2} + P_{вн2} = 2146 + 107 = 2253 \text{ руб. (44)}$$

где $P_{вн}$ – внепроизводственные расходы, руб.

Внепроизводственные расходы – это расходы, связанные с реализацией изготовленной продукции.

$$P_{вн1} = k_{вн} \cdot C_{зав1} = 0,05 * 4978 = 248 \text{ руб. (45)}$$

$$P_{вн2} = k_{вн} \cdot C_{зав2} = 0,05 * 2146 = 107 \text{ руб. (46)}$$

где $k_{вн}$ – коэффициент внепроизводственных расходов = 0,05.

Снижение себестоимости изготовления сварной конструкции за счет использования более производительного способа сварки можно рассчитать по формуле:

$$\Delta C_{полн.} = \frac{C_{полн}^{баз} - C_{полн}^{пр}}{C_{полн}^{баз}} * 100\% = \frac{5226 - 2253}{5226} * 100\% = 56\% \quad (47)$$

Капитальные вложения в оборудование

$$K_{общ1} = K_{пр.} + K_{соп1.} = 120900 + 53600 = 174500 \quad (48)$$

$$K_{общ2} = K_{пр.} + K_{соп.} = 123900 + 53600 = 177500 \quad (49)$$

где: $K_{пр.}$ – прямые вложения в оборудование, руб.;

$K_{соп.}$ – сопутствующие вложения в приобретенное оборудование, руб.

$$K_{пр.1} = \sum C_{об} * k_{з1} = 93000 * 1,3 = 120900 \quad (50)$$

$$K_{пр.2} = \sum C_{об} * k_{з2} = 175000 * 0,7 = 123900 \quad (51)$$

(рассчитывается по двум сравниваемым вариантам)

где $\sum C_{об.}$ – суммарная стоимость оборудования;

$k_{з}$ – коэффициент загрузки оборудования.

$$K_{соп} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} = 35000 + 18600 = 53600 \text{ руб.} \quad (52)$$

$K_{монт}$ – затраты на монтаж нового оборудования;

$K_{дем}$ – затраты на демонтаж старого оборудования;

$K_{площ}$ – затраты на производственные площади под новое оборудование.

$$K_{монт} = \sum C_{об} * k_{монт} = 175000 * 0,2 = 35000 \text{ руб.} \quad (53)$$

где: $k_{монт}$ – коэффициент монтажа оборудования = 0,2.

$$K_{дем} = \sum C_{об} * k_{дем} = 93000 * 0,2 = 18600 \text{ руб.} \quad (54)$$

где: $k_{дем}$ – коэффициент демонтажа оборудования = 0,2.

$$K_{\text{площ}} = \frac{(S_{\text{площ}}^{\text{баз}} - S_{\text{площ}}^{\text{пр}}) \cdot C_{\text{площ}} \cdot N_{\text{а площ}} \cdot k_{\text{д.пл.}} \cdot k_3}{100 \cdot N_{\text{пр}}} =$$

$$= \frac{(70 - 55) \cdot 2200 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 0,7}{100 \cdot 1569} = 3,5(55)$$

где $S_{\text{площ}}$ - площадь, занимаемая оборудованием на i -той операции, м²;

$C_{\text{площ}}$ - цена 1 м² занимаемой производственной площади;

$N_{\text{а площ}}$ - норма амортизационных отчислений на производственные здания;

$k_{\text{доп.пл.}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную площадь.

Удельные капитальные вложения в оборудование (капитальные вложения на единицу изделия)

$$K_{\text{уд}}^1 = \frac{K_{\text{общ.1}}}{N_{\text{пр}}} = \frac{174500}{1569} = 112 \text{ руб.} (56)$$

$$K_{\text{уд}}^2 = \frac{K_{\text{общ.2}}}{N_{\text{пр}}} = \frac{177500}{1569} = 114 \text{ руб.} (57)$$

где: $N_{\text{г}}$ – годовая программа выпуска изделий.

Дополнительные капитальные вложения рассчитываются для определения наиболее капиталоемкого варианта

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} - K_{\text{баз}} = 123900 - 120900 = 3000 \text{ руб.} (58)$$

Определение экономической эффективности внедрения нового оборудования.

Условно-годовая экономия (ожидаемая прибыль) от снижения себестоимости изготовления изделия.

$$\Delta_{\text{у.г.}} = \text{Приб.ож.} = (C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} - C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}}) \cdot N_{\text{пр}} = (5226 - 2253) \cdot 1569 = 463788 \text{ руб.} (59)$$

3.2. Годовой экономический эффект.

$$\Delta_{\text{г.}} = [(C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд.}}^{\text{баз.}}) - (C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд.}}^{\text{пр.}})] \cdot N_{\text{пр.}} =$$

$$((5226 + 0,33 \cdot 112) - (2253 + 0,33 \cdot 114)) \cdot 1569 = 463685 \text{ руб.} (60)$$

ЕН – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности: в сварочном производстве, (ЕН = 0,33);

Определение срока окупаемости капитальных вложений (горизонт расчета):

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}^{пр.}}{Приб.ож.} = \frac{122400}{463788} = 0,45 \text{ года (61)}$$

Срок окупаемости рассчитывается лишь в том случае, если выполняется следующее неравенство: КУД БАЗ. < КУД ПР.

Для определения горизонта расчета полученное значение Ток округляем до ближайшего целого числа.

Коэффициент сравнительной экономической эффективности определяем по формуле:

$$E_{ср.} = \frac{1}{T_{ок.}} = \frac{1}{0,45} = 2,2 \text{ (62)}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности показывает величину отдачи (экономии), полученной от затраченных на внедряемое мероприятие средств. Полученный показатель $E_{ср} > E_{н}$, значит мероприятие эффективно.

Снижение трудоёмкости изготовления изделия

Рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_{ум} = \frac{t_{ум}^{баз} - t_{ум}^{проектн}}{t_{ум}^{баз}} * 100\% = \frac{365,5 - 107,8}{365,5} * 100\% = 48\%$$

Исходя из значения величины снижения трудоёмкости изготовления изделия рассчитываем повышение производительности труда $\Delta\Pi_T$:

$$\Delta\Pi_T = \frac{100 * \Delta t_{ум}}{100 - \Delta t_{ум}} = \frac{100 * 48}{100 - 48} = 96 (\%)$$

На основании выполненных расчетов, выполнено сравнение себестоимостей изготовления магнитострикционного преобразователя по вариантам 1 и 2 и составлена калькуляция (таблица 5.4).

Таблица 5.4 - Калькуляция себестоимости изготовления магнитострикционного преобразователя

Статьи затрат	Условные обозначения	Базовый вариант	Проектный вариант
1	2	3	4
1. Материалы основные	ЗМ	68,7	68,7
2. Электроэнергия	З _{э-э}	161	46,5
3. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	З _{об.}	29,9	196,6
4. Затраты на содержание занимаемой под оборудование площади	З _{плоч.}	147,8	79,5
5. Основная заработная плата	ФЗП	801	405
6. Дополнительная заработная плата	ЗПЛ доп.	64	33
7. Отчисления на социальное страхование	О _{с.н.}	260	131
8. Технологическая себестоимость	С _{тех.}	1534	1308
9. Цеховая себестоимость	С _{цех.}	4044	2971
10. Заводская себестоимость	С _{зав}	6024	4499
11. Внепроизводственные расходы	Р _{вн.}	301	225
12. Полная себестоимость	С _{полн.}	5226	2253

Выводы: из рассмотренных вариантов экономически выгодным является проектный вариант.

- В проектно́м варианте себестоимость изготовления магнито́стрикционного пакета ниже на 56% базового варианта.
- В проектно́м варианте трудоемкость ниже базового способа на 48%
- Производительность труда в проектно́м варианте выше на 96%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные результаты первого этапа комплексной бакалаврской работы показывают, что отжиг магнитострикционных пластин из сплава 49К2ФА в камерной печи сопротивления с модифицированной средой не удовлетворяют эксплуатационным требованиям и для дальнейших работ в этой области нужны дополнительные исследования и эксперименты с целью установления оптимального режима отжига для получения удовлетворительных результатов, но как показывают результаты первого экспериментального отжига образуется оксидная плёнка, что послужило основанием для исследований второй части комплексной работы. В ней было установлено что имеющаяся после отжига оксидная пленка имела неравномерную структуру. Но проведенные эксперименты по оксидированию пластин магнитострикционного преобразователя в модифицированной воздушной среде показали, что этот способ является применимым для данного сплава. Проведенные опыты указывают на то, что возможно проводить оксидирование во время охлаждения при термическом отжиге. Для того чтобы использовать это совмещение операций необходимо дополнительно произвести ряд опытов и подобрать оптимальные режимы которые позволят получить устойчивую оксидную пленку без вреда для отожженной структуры магнитострикционных пластин. Предлагаемый технологический процесс изготовления магнитострикционного преобразователя требует экспериментального подтверждения, но на данном этапе видно, что он исключает использование дорогостоящего и сложного оборудования, а его реализация возможна в условиях небольшого предприятия. Результат экономического расчета показал высокую эффективность и экономическую выгодность выбранных операций, что и являлось целью данной бакалаврской работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков С.С. Сварка пластмасс ультразвуком/ С.С. Волков, Б.Я. Черняк.- М. : Химия, 1986. - 256с.
2. Кузьмук Т.А. Сварка и склеивание пластмасс/ Т.А Кузьмук, Е.Н. Деркач. - К.: Техника, 1986. - 193с.
3. Селиванов А.С. Наука и инновации Тольяттинский государственный университет , [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.tltsu.ru/uscience/services/the-finished-development/detail.php?SECTION_ID=72&ELEMENT_ID=39535 Дата обращения: 25.05.2017.
4. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи/ Е. Кикучи . – М.: Мир, 1972.– 424 с.
5. Донской А.В. Ультразвуковые технологические установки/ А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш. Ленинград. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982– 208 с.
6. Бабинов О.И. Ультразвук и его применение в промышленности. - Москва : Гос. изд-во физ.-матем. лит., 1958. - 260 с.
7. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении. Справочник: в 4 томах. Т.1/ Г.А. Николаев.- М.: Машиностроение, 1978. - 504с.
8. В. Б. Березин. электротехнические материалы/ В.Б. Березин, А.М. Хайкин, Н.С. Прохоров.- М.: Энергоатомиздат, 1993. - 504с
9. Лаварко П.К. Оксидные покрытия металлов/ П.К. Лаварко. - М.: Машгиз. 1963. 186 с.
10. Грилихес С.Я. Оксидирование и фосфатирование металлов, издание 3-е дополненное и переработанное /Ленинград. - Машиностроение, 1977.-119
11. Ямпольский А.М. - Гальванические покрытия: учебник для технических училищ/ А.М. Ямпольский. Ленинград: Машиностроение, 1978. - 168с.

12. Гладкова Е.Н. Защита от коррозии порошковых и компонентных сплавов на основе железа паротермическим оксидированием/ Е.Н. Гладкова, Советова Л.В, Гусев В.И., Мананников А.Н. - Саратов, изд. Саратовского университета, 1983, 122с.
13. Лашко Н. Ф. Пайка металлов/ Лашко Н. Ф. Лашко С. В. - М.: Машиностроение, 1977, 328 с
14. В.Ф. Казанцев, Расчет ультразвуковых преобразователей для технологических установок. Учеб. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по применению ультразвука в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1980. – 44 с.
15. Петрунин, И.Е. Справочник по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина.-М.: Машиностроение, 2003.- 480 с.- ISBN: 5-217-03167-0
16. ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. – Взамен ГОСТ 7.1–84, ГОСТ 7.16–79, ГОСТ 7.18–79, ГОСТ 7.34–81, ГОСТ 7.40–82 ; введ. 2004–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – III, 48 с.
17. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.- методическое пособие. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. –22 с.
18. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно- методическое пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова Тольятти, 2012, - 135с.
19. Федоров А.Л. Технология изготовления паяных конструкций : учебно-методическое пособие / Федоров А.Л. Краснопевцев А.Ю. Шашкин О.В. –Тольятти : изд-во ТГУ, 2013–60 с.
20. Краснопевцева И.В. Экономическая часть дипломного проекта: учебно–метод. пособие для студентов специальности 150202

«Оборудование и технология сварочного производства» / И.В. Краснопевцева. – Тольятти: ТГУ, 2008 г. – 39 с.

21. Mott N.F. The theory of the formation of protective oxide films on metals. - Trans. Faraday Soc. 1947, v43. p29.
22. Verwey E.J.W. Electrolytic conduction of a solid insulator at high fields. - Physica. 1935, v 2. p1059.
23. Young L. Kinetics of formation of anodic oxide films on niobium. Trans. Faraday Soc. 1956, v 52. p 502.
24. Bramley Y., Pullen N. Continuous anodising of aluminium wire of insulation. - Light Metals 1957, v.20, p 148.
25. Roussel B. Die durch anodische Behandlung isolierten aluminiumleiter.- Aluminium Suisse, 1962, v12 , p69.