

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
Направление 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Профиль «Технология машиностроения»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка технологии ультразвуковой сборки пластиковых изделий автокомпонентов

Студент	М.А. Шинин	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	А.С. Селиванов	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	Л.Н. Горина	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	Н.В. Зубкова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой
к.т.н, доцент

_____ А.В. Бобровский
(личная подпись)

«_____» _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В работе представлен проект по разработке технологии и технологического оснащения для сборки автомобильных комплектующих из термопластичных материалов методом ультразвуковой сварки. Показана перспектива применения в автомобильной промышленности пластиковых материалов, выполнен анализ научно-технической информации в области ультразвуковой сварки, отмечены перспективы применения данного метода сборки в автомобильной промышленности наряду с развитием и внедрением изделий из термопластиков. В ходе работы спроектирована технология ультразвуковой сварки изделий, технологическое оснащение, рассчитаны и спроектированы перспективные конструкции ультразвуковых колебательных систем для рационального ввода акустической энергии в зону обработки. В рамках проекта выполнены расчеты по обеспечению экологической эффективности проекта и экономического эффекта от внедрения технологии

Содержание

	Стр.
Аннотация.....	2
Содержание.....	3
Введение.....	4
1. Анализ состояния вопроса. Технологические возможности применения ультразвука для сборки (сварки) пластиковых изделий автокомпонентов.....	6
1.1 Анализ и перспективы применения термопластичных материалов в мировом автомобилестроении.....	6
1.2. Анализ вариантности технических решений при производстве и сборке автокомпонентов из термопластичных материалов.....	10
1.3 Физические основы ультразвуковой сварки.....	13
1.4 Обзор технических решений в области ультразвуковой сварки.....	18
2. Разработка технологии ультразвуковой сборки пластиковых изделий автокомпонентов.....	25
2.1 Разработка общей схемы ультразвуковой сварки.....	25
2.2 Расчет режимов ультразвуковой сварки.....	26
3. Проектирование приспособления для ультразвуковой сборки.....	29
3.1 Расчет и проектирование магнитострикционного преобразователя.....	29
3.2 Расчет и проектирование ультразвукового волновода.....	31
3.3 Расчет и проектирование привода ультразвуковых головок.....	33
4. Безопасность и экологичность технического объекта.....	35
4.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта.....	35
4.2. Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	36
4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.....	36
4.4. Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта.....	38
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта	42
4.6. Выводы по разделу.....	43
5. Экономическая эффективность работы.....	45
5.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки...	45
5.2. Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии.....	46
Заключение	48
Список используемой литературы.....	49
Приложения.....	50

Введение

Современное развитие промышленности, в том числе и автомобилестроения, осуществляется с введением различного рода инновационных проектов, призванных обеспечить качественно новый технологический скачок производства. Одним из направлений инновационных проектов является применение новых перспективных материалов и технологий их получения и обработки. Применительно к автомобильной промышленности это связано с применением легких материалов, позволяющих в значительной степени снизить вес автомобиля и как следствие техногенную нагрузку на окружающую среду. Одним из широко применяемых в автомобилестроении материалов для получения автокомпонентов являются пластики. По данным компании TWI Ltd к 2020 пластмасса будет составлять 18% среднего веса транспортного средства. Кроме того автомобилестроители сталкиваются с проблемой экономии топлива и ужесточающимися требованиями к выбросам (выхлопных газов). Так, например, в США легковые автомобили должны соответствовать стандартам «Закона о среднем расходе топлива автомобилями», выпускаемым корпорацией (CAFE), согласно которым к 2025 г. средний расход топлива не должен превышать показателя в 4.32 л / 100 км. В Европе легковым транспортным средствам к 2021 году будут предъявлены требования по сокращению выбросов CO_2 на новых автомобилях к 95 г/км. Как следствие введение этих требований потребуют значительного снижения веса автомобиля за счет применения перспективных легких материалов, в том числе и из пластика. В связи с чем перед производителями встает технологическая задача по поиску новых перспективных материалов, в частности пластиковых материалов, и по обеспечению их надежной сборки.

В настоящее время для сборки пластиковых автокомплетирующих применяются технологии лазерной, вибрационной и ультразвуковой сварки; сборки с помощью нагретого газа, инфракрасные технологии и т.д. При этом постоянно осуществляется поиск, разработка и внедрение новых техниче-

ских решений. Например, в Великобритании создана технологическая группа по исследованию и разработке перспективных термопластичных материалов, технологий их получения, обработки и сборки. В исследовательскую группу вошли крупные автомобильные компании и мировые лидеры в области производства и изготовления пластиковых материалов (JaguarCars, FordMotorCompany, TelsonicUKLtd, BritishPlasticsFederation).

Одним из перспективных, экономически эффективным и экологически безопасным методом получения неразъемного соединения термопластичных материалов является технология ультразвуковой сварки. Данный метод сборки комплектующих из пластиковых материалов активно развивается как в России, так и зарубежом. Например, национальный институт стандартов и технологий (NIST, Gaithersburg, Германия) выполняет комплекс научно-исследовательских работ по разработке ультразвукового сварочного оборудования и технологий ультразвуковой сварки. Проект направлен изучить присущие преимущества ультразвуковой сварки по сравнению с альтернативными процессами сборки.

В связи с чем тематика выпускной квалификационной работы является актуальной и находится на перспективном направлении. Целью работы является разработка технологии ультразвуковой сборки автокомплектующих из термопластичных материалов.


1. Анализ состояния вопроса. Технологические возможности применения ультразвука для сборки (сварки) пластиковых изделий автокомпонентов

1.1 Анализ и перспективы применения термопластичных материалов в мировом автомобилестроении

В настоящее время в автомобилестроении активно развивается тенденция в облегчении конструкции автомобиля и применения новых материалов, в том числе и из пластика. Например, из термопластика изготавливают бампера, зеркала заднего вида, вентиляционные решетки и решетки воздухозаборника, детали салона (панели отделки, имитирующие дерево, панели приборов и т. д.), детали механической аппаратуры (радиатор, фильтр и т. д.), электрическое оборудование (фары, сигнализация и т. д.). В таблице 1.1 приведены примеры автомобильных компонентов, изготовленных из термопластичных материалов[1, 2, 3].

Автокомпоненты из термопластичных материалов

Таблица 1.1

Наименование изделия	Фото	Технические требования
Детали и узлы моторного отсека (коллекторы, выпускная система,)	 	прочность; герметичность, стойкость к высокой и низкой температуре

Продолжение таблицы 1.1

Осветительные приборы, фары, повторители поворота, светодиодные матрицы		Герметичность, стойкость к перепаду температур
Детали интерьера (панель приборов и индикации; воздуховоды отопительной системы, накладки, чехлы и т.д.)		Герметичность, жесткость соединения, устойчивость к вибрациям
Топливная система (топливные баки)		Герметичность; прочность
Различные функциональные компоненты (крепежные изделия приводных элементов (стеклоочистители), корпуса, крышки, расширительные бачки, резервуары и т.д.)		прочность; герметичность надежность фиксирования и соединения
		

В таблице 1.1 приведены некоторые примеры использования термопластичных материалов в автокомплектующих. Как следует из анализа представленной информации ассортимент продукции из термопластичных материалов или с их частичным использованием находит широкое применения при изготовлении автокомплектующих. По данным компании TWILtd к 2020 пластмасса будет составлять 18% среднего веса транспортного средства. Преимущества применения термопластичных материалов в автомобилестроении при изготовления различных компонентов заключается в их легкости по

сравнению, например, с металлами, устойчивости к коррозии, жесткости, легкости окраски, формовки, обработки и т.д.

Основные виды термопластика, используемые при производстве компонентов автомобилей: ABS, EPDM, поликарбонаты (PC, PMMA), полиамид (PA), полипропилен (PP), полихлорвинил (PVC). Рассмотрим характеристики пластмассовых материалов, используемых при производстве автокомпонентов, с точки зрения их возможной сборки при помощи ультразвука[1, 2, 3].

Пластмассы представляют собой синтетические материалы, сформированные из двух и более химических элементов, которые входят в состав полимера[4, 5]. Существует два основных типа полимеров: термореактивные материалы и термопласты. Термореактивные материалы претерпевают необратимое молекулярное изменение и во время обработки становятся тугоплавкими. Они не могут быть расплавлены или преобразованы в их конечном состоянии. Термореактивные материалы – это твердые и хрупкие материалы, которые вследствие нагрева могут ухудшаться. В связи с чем термореактивные материалы не подвергаются ультразвуковой сварке. Термопласты, напротив, смягчаются после нагревания и затвердевают при охлаждении. Термопласты идеально подходят для ультразвуковой сборки[4, 5, 6].

Молекулы полимера представляют собой длинные цепочки, значительно (в 500 – 10 000 раз) превышающие их толщину. Молекулярная структура термопласта определяет их физические свойства. Молекулярная структура термопластов классифицируется на аморфную и полупрозрачную структуры (рис. 1.1). Молекулы аморфного термопласта устроены хаотично и беспорядочно. У полупрозрачных термопластов молекулярная структура очень организованная и повторяемая.

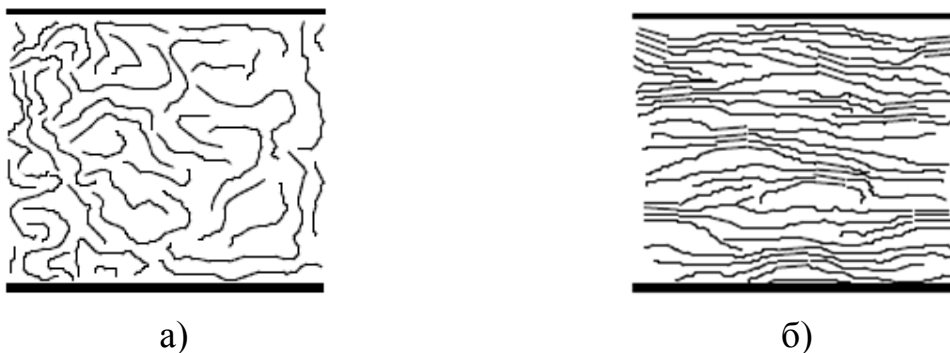


Рис. 1.1 Структура термопластичных материалов: а) аморфные термопласты; б) полупрозрачные термопласты[4]

Из аморфных термопластов состоят такие материалы как ABS, стирол, акриловая краска, ПВХ и поликарбонат. Полупрозрачные термопласты включают ацетал, нейлон (полиамид), полиэстер, полиэтилен, полипропилен и фторполимеры. У аморфных материалов нет определенной точки плавления. При нагревании они постепенно смягчаются в результате фазового перехода из твердого состояния в жидкое. Затвердевание осуществляется при естественном охлаждении в обратном порядке.

У полупрозрачных материалов имеется выраженная точка плавления. Для фазового перехода и осуществления плавления полупрозрачным материалам требуется значительный уровень тепловой энергии. Полупрозрачный материал остается твердым до тех пор, пока не достигнет точки плавления. Отвердевание происходит столь же быстро из-за внезапной перекристаллизации молекул. Рисунок 1.2 иллюстрирует различия в расплавленных состояниях для аморфных и полупрозрачных материалов.

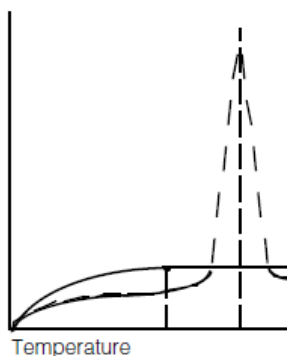


Рис. 1.2 Расплавленные состояния для аморфных (сплошная линия) и полупрозрачных (штриховая) материалов [4]

Для сварки полупрозрачных материалов требуется более высокая плотность удельной акустической энергии, чем для сварки аморфных материалов. Обусловлено это различием в способности материала передавать механическую энергию в виде колебаний: в полупрозрачных материалах их организованная молекулярная структура поглощает вибрационную энергию; в аморфных материалах случайное расположение молекул позволяет вибрационной энергии пройти через них легко с небольшой диссипацией.

Для обеспечения надежного сварного соединения термопластичных материалов кроме плавления материалов необходимо чтобы их химические свойства были совместимы. В таблице 1.2 представлены данные о совместимости термопластичных материалов по данным компании Dukane [2].

1.2. Анализ вариантности технических решений при производстве и сборке автокомпонентов из термопластичных материалов

При производстве изделий сборочных единиц автокомпонентов из термопластичных материалов условно можно выделить три основных способа сборки, представленных на схеме (рис. 1.3)



Рис. 1.3 Варианты сборки компонентов из термопластичных материалов

Совместимость термопластичных материалов для ультразвуковой сварки (по данным компании Dukane)

Таблица 1.2

Guide To US Plastic Assembly.pdf (ЗАЩИТА) - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

Открыть 100% Инструменты Заполнить и подписать Комментарии

Ultrasonic Weldability Compatibility Chart for Thermoplastics

	ABS (Cycloc)	ABS/Polycarbonate (Cycloy)	Acetal (Delrin, Celcon)	Acrylic (Plexiglass, Perspex)	Acrylic Multipolymer (XT)	Liquid Crystal Polymers (Xydar)	Nylon (Zytel)	Phenylene Oxide (Noryl)	Polycarbonate (Lexan)	Polycarbonate/Polyester (Xenoy)	Polyester PBT (Celanex, Valox)	Polyester PET (Rynite)	Polyetherether Ketone (PEEK)	Polyetherimide (Ultem)	Polyethylene P/E	Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)	Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)	Polypropylene P/P	Polystyrene	Polysulfone (Udel)	Polyvinylchloride (Rigid PVC)	SAN/NAS	Styrene Block Copolymers (K-Resin)
ABS (Cycloc)	■																						●
ABS/Polycarbonate (Cycloy)		■			●				●											●			
Acetal (Delrin, Celcon)			■																				
Acrylic (Plexiglass, Perspex)	■	●		■					■	●												●	●
Acrylic Multipolymer (XT)	■	●		■	●																	●	
Liquid Crystal Polymers (Xydar)						■																	
Nylon (Zytel)							■																
Phenylene Oxide (Noryl)							■	●															
Polycarbonate (Lexan)			■		■				■	●													
Polycarbonate/Polyester (Xenoy)		●		●					■	●	●												
Polyester PBT (Celanex, Valox)										●	■												
Polyester PET (Rynite)											■	■											
Polyetherether Ketone (PEEK)												■	■										
Polyetherimide (Ultem)													■	■									
Polyethylene P/E														■	■								
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)															■	■							
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)																■	■						
Polypropylene P/P																	■	■					
Polystyrene	●							■										■	■			●	●
Polysulfone (Udel)																			■	■			
Polyvinylchloride (Rigid PVC)																				■	■		
SAN/NAS	●			●	●			●											●		■	■	
Styrene Block Copolymers (K-Resin)	●			●															●		■	■	

■ Good compatibility ● Compatible at times based on material composition

Одним из наиболее перспективных и развивающихся методов сборки термопластичных материалов являются технологии сварки. При этом в науч-

но-технической литературе различные методы сварки классифицируют, как представлено на рис. 1.4



Рис. 1.4. Вариантность сварки термопластичных материалов

Представленные варианты сборки термопластичных материалов предлагает альтернативные решения, каждое из которых имеет определенные плюсы и минусы, которые должны быть проанализированы с точки зрения технико-экономической эффективности. Рассмотрим преимущества технологии ультразвуковой сварки по сравнению с альтернативными вариантами. Во-первых, ультразвуковая сборка является энергоэффективным процессом, т.к. при реализации технологии не требуется значительного расхода воздуха, не используется водяное охлаждение и т.д. Кроме того, ультразвуковая сборка не требует дополнительных расходных материалов, таких как зажимы, припой, флюс, заклепки и клеи и т.д.

Во-вторых, технология ультразвуковой сборки является высокопроизводительным и легко автоматизированным процессом.

В-третьих, применение ультразвука в технологиях сборки является экологически чистым процессом, т.к. не используются различные примеси, растворители, не выделяются газовые смеси и т.д.

1.3 Физические основы ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка является инновационной технологией с большим количеством различных применений в различных областях и в частности в автомобилестроении. Из-за своих технических преимуществ, ультразвук заменяет множество альтернативных технологий неразъемной сборки термопластичных материалов. Кроме того, ультразвуковые технологии не только обеспечивают быстроедействие и эффективность сборки, но и являются экологически чистыми и безопасными методами для переработки термопластов, пленки и ткани. Принцип технологии основан на генерации внутреннего тепла (молекулярного трения) с помощью ультразвука и граничного трения в соединении термопластов [5, 6, 7, 8].

Ультразвук представляет собой механические колебания на частоте в диапазоне от 16 кГц до 1 ГГц. Ультразвук в нижнем диапазоне частот от 20 кГц до 100 кГц имеет промышленное применение для переработки термопластичных материалов. Ультразвуковая частота преобразуется с помощью генератора. Генератор преобразует напряжение сети с промышленной частотой порядка 50-60 Гц в высокочастотное напряжение и передает это к ультразвуковой колебательной системе, который состоит из преобразователя (магнитострикционного или пьезокерамического) и волновод с сварочным инструментом. Преобразователь преобразует входное напряжение за счет эффектов магнито- или электрострикции в механические колебания той же частоты и передает их через усилитель и волновод к заготовке. Поглощение колебаний осуществляется за счет колебаний молекулярных связей среды в которую вводится ультразвук. В результате чего осуществляется локальный нагрев материала заготовки в зоне присоединения. Этот процесс термической пластификации позволяет обеспечить неразъемное соединение нескольких

изделий. Сверхзвуковая сборка (сварка) пластмасс представляет собой создание неразъемного соединения термопластов с помощью тепла, выработанного от высокочастотного механического движения. Это достигается за счет преобразования электроэнергии в высокочастотное механическое движение (колебания), которое создает высокую температуру в зоне контакта и в следствие чего пластмасса в области контакта начинает локально плавиться, устанавливая молекулярную связь между пластмассовыми компонентами. На рис. 1.5 представлена цикл сварки термопластичных материалов на основе применения энергии ультразвука[4].

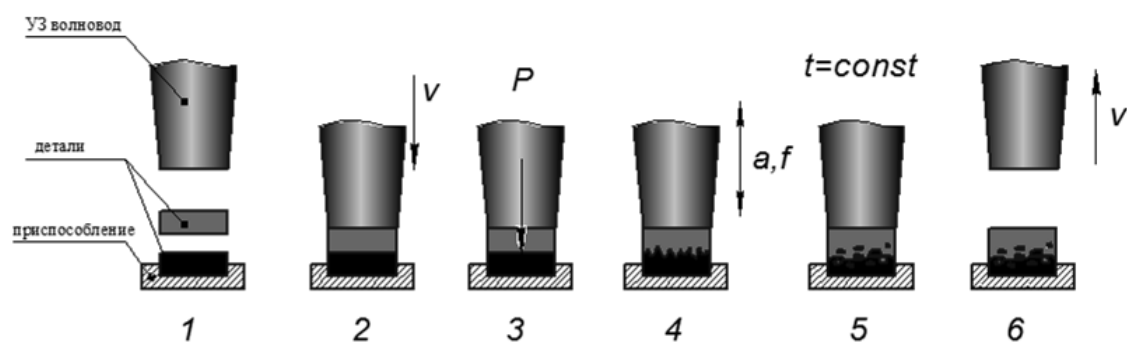


Рис. 1.5 Цикл ультразвуковой сварки

Последовательность ультразвуковой сварки включает в себя следующие этапы:

1. Две термопластических части, которые необходимо сварить, располагают друг относительно друга и закрепляют в специальном удерживающем приспособлении;
2. К верхней части подводят (в ручном или автоматическом режиме) ультразвуковой инструмент
3. Создают необходимое давление в контакте
4. Собственно цикл ультразвуковой сварки в течение определённого времени. На этом этапе механические колебания передаются зоне контакта термопластичных материалов, в результате чего на поверхности контакта и в приповерхностных слоях генерируется высокая температура. При достижении температуры точки плавления пластмасса плавится и подвод ультразвуковой

энергии прекращается. Это позволяет расплавленной пластмассе начинать охлаждаться.

5. После прекращения подачи ультразвуковой энергии сила поджима сохраняется в течение определенного времени, чтобы позволить соединяемым частям охладиться и укрепиться.

6. После остывания зоны контакта и укрепления свариваемых частей ультразвуковой инструмент отводится от изделия

Для осуществления процесса ультразвуковой сварки используется следующее технологическое оборудование, состоящее из трех основных компонентов (рис. 1.6):

- Генератор ультразвука
- Преобразователь (магнитострикционный или пьезокерамический)
- Ультразвуковой волновод

Генератор предназначен для преобразования электрической энергии стандартной сети трехфазного тока (120 – 240 В, 50/60 Hz) в электроэнергию на ультразвуковой частоте. Высокочастотная электроэнергия, произведенная генератором, передается в преобразователь, который изменяет электроэнергию в энергию механических колебаний. Преобразователь жестко соединен с ультразвуковым волноводом, предназначенным для усиления механических колебаний. Конструкции волноводов имеют различную форму, в зависимости от которой возможно получить различные коэффициенты усиления амплитуды колебаний на выходном торце волновода. Наиболее распространенные формы ультразвуковых волноводов в виде конуса, экспоненты, цилиндрической формы со ступенями. Ультразвуковые волноводы изготавливают из алюминия, титана или закаленной инструментальной стали. Как правило, инструменты с амплитудой менее 3 мкм изготавливаются из алюминия; инструменты с амплитудами более 3 мкм из титана. Закаленная инструментальная сталь используется для сварки металла и стекла с наполнением пластмасс и для вставки металлических крепежных элементов в пластик.

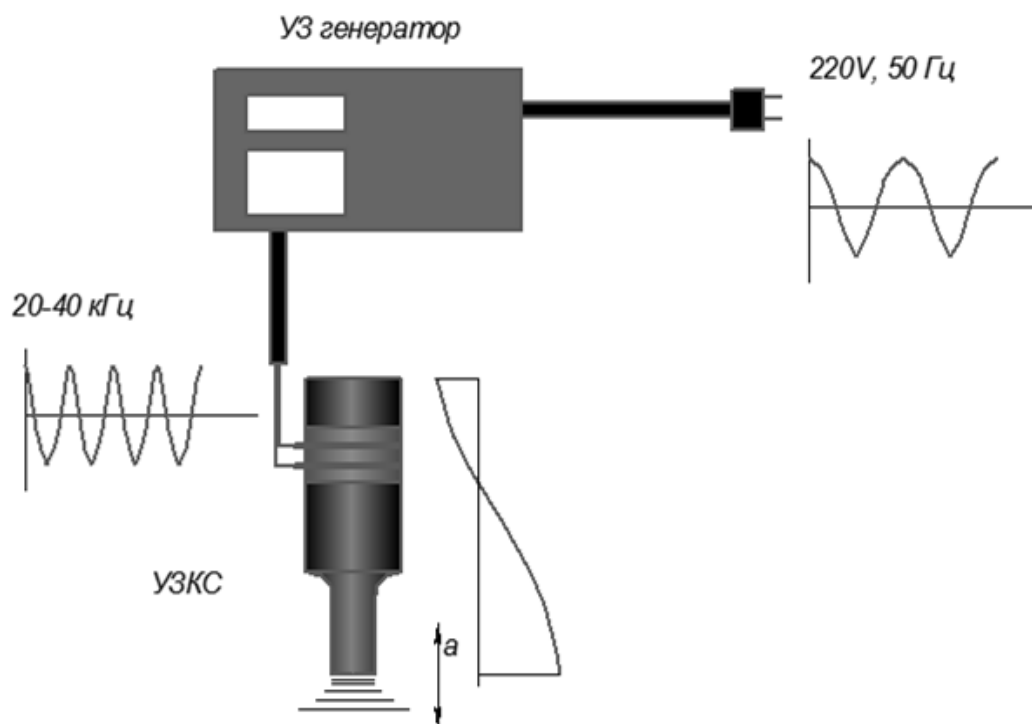


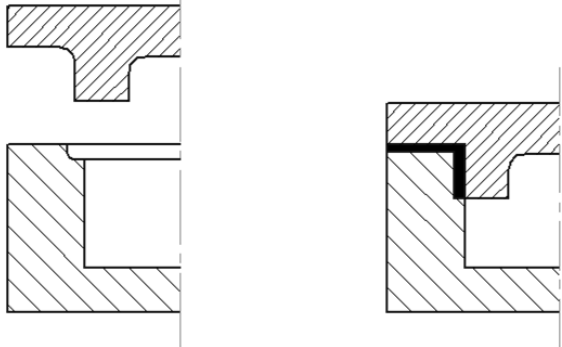
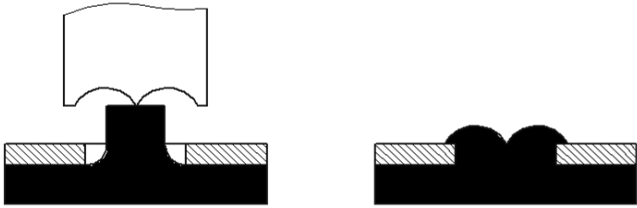
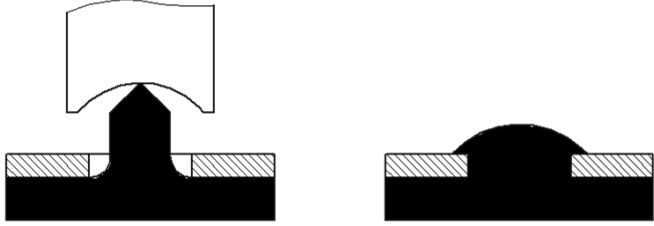
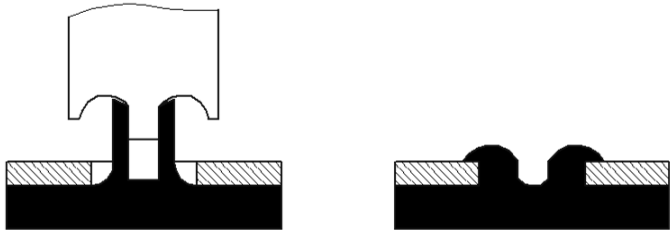
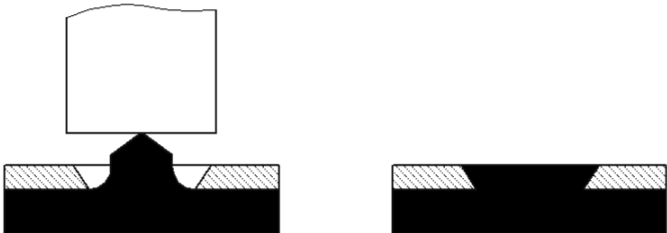
Рис. 1.6 Структурная схема технологического оборудования для ультразвуковой сварки

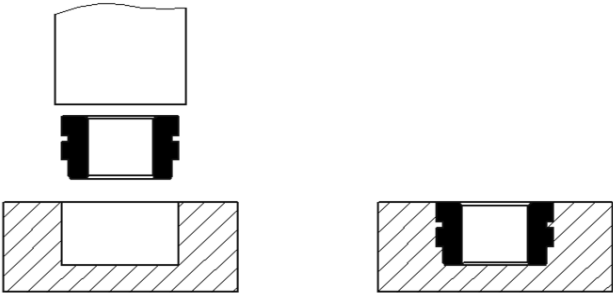
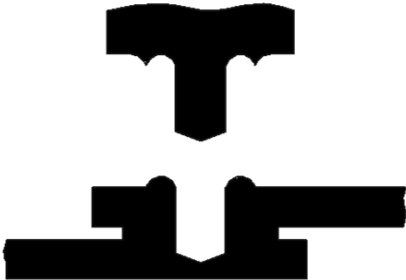
Основные технологические схемы ультразвуковой сварки термопластичных материалов приведены в таблице 1.3.

Технологические схемы ультразвуковой сварки

Таблица 1.3

Наименование	Технологическая схема
TheStepJoint	
The Tongue-and-Groove Joint	

TheShearJoint		
Profile Stake		
TheDomeStake		
TheHollowStake		
TheFlushStake		

Вставка	
Точечная сварка	

1.4 Обзор технических решений в области ультразвуковой сварки

В настоящее время на рынке ультразвуковых сварочных технологий имеется ряд отечественных и зарубежных ведущих предприятий, таких как HerrmannUltrasonic, Dukane, SONOTRONICNagelGmbH, Branson, Telsonic, Центр ультразвуковых технологий (г. Бийск, Россия), ООО «Мелфиз», ООО «Релтек». Компании занимаются производством всего комплекса технологического оснащения для ультразвуковой сварки термопластичных материалов. Так, в компании HerrmannUltrasonic разработаны комплекты автоматизированных устройств для сварки пластиковых панелей двери автомобилей (рис. 1.7). В основе устройства лежат приводные ультразвуковые головки, расположенные на верхней платформе. Пластиковые заготовки устанавливаются в специальном приспособлении, расположенной на нижней платформе. Перемещение ультразвуковых головок до касания поверхностей свариваемых изделий осуществляется при помощи пневматического цилиндра.

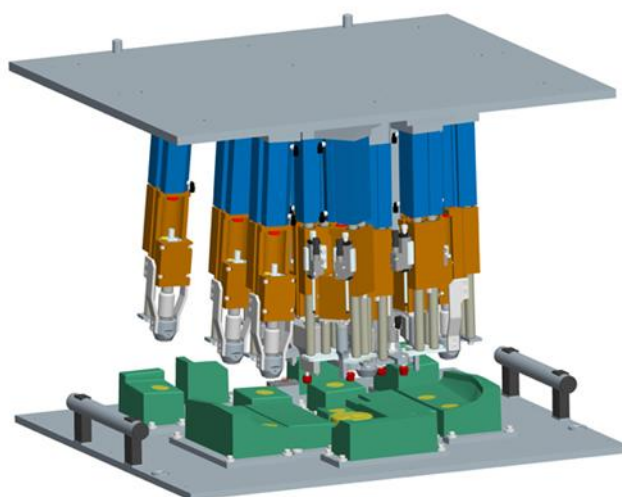


Рис. 1.7. Установка для сварки фирмы HerrmannUltrasonic

На рис. 1.8. представлены рабочие зоны сварки автокомплектующих из термопластичных материалов с помощью приводных ультразвуковых головок.



а)



б)

Рис. 1.8. Рабочие зоны сварки: а) чехла рычага переключения передачи, б) панели приборов автомобиля (разработка)HerrmannUltrasonic

Одна из динамично развивающихся шведских компаний Telsonic, являющаяся крупным поставщиком ультразвукового оборудования предложила концепцию многомодульной конструкции ультразвуковых сварочных машин (рис. 1.9.), с возможностью одновременной сварки нескольких элементов изделия. Компания использует инновационные ультразвуковые технологии для переработки термопластов, таких как PP, PP-EPDM, PC/ABS, PC/PBT или композитных материалов, таких как текстиль PUR/ABS. В настоящее время компанией разработаны и реализуются технологии ультразвуковой пробивки отверстий в бамперах, с одновременной сваркой различных крепежных элементов, буксировочных кронштейнов, датчиков парковки, систем очистки

фар. Реализуются технологии ультразвуковой сварки колесных арок, пластиковых накладных панелей днища кузова и т.д. Разработана автоматическая линия для сварки автомобильных ковриков и формовки покрытия пола.

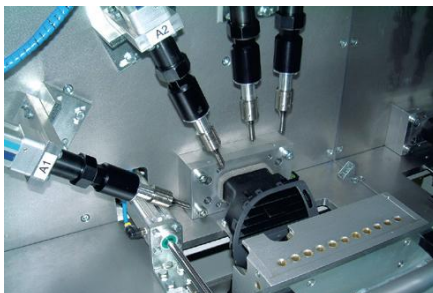


Рис. 1.9. Техническое решение ультразвуковой сварки компании Telsonic

Компания Dukane (Германия) выпускает широкую линейку технологического оборудования для реализации ультразвуковых технологий.

На рис. 1.10 представлена переносная система для ручной ультразвуковой сварки. Система состоит из ультразвукового генератора и колебательной системы на основе пьезокерамики и ступенчатого волновода, установленной в корпусе пистолетного типа.



Рис. 1.10. Аппарат для ручной ультразвуковой сварки фирмы Dukane

Данная конструкция может использоваться для универсального применения в единичном или мелкосерийном производстве. Для более высокой производительности предложены конструкции ультразвуковых машин прессового типа (рис. 1.11)



Рис. 1.11. Ультразвуковой станок прессового типа фирмы Dukane

Данная машина состоит из ультразвуковой приводной головки, перемещение которой осуществляется с помощью пневматического узла по специальным вертикальным направляющим. Направляющие расположены на вертикальной колонне установленной на платформе станка. Машина оснащается системой управления ввода ультразвуковой энергии.

На рис. 1.12 представлен более производительные полуавтоматы карусельного (а) и последовательного типов (б) для одновременной сварки на нескольких позициях.



а)



б)

Рис. 1.12. Ультразвуковой станок прессового типа фирмы Dukane

В основу ультразвуковых машин, как было отмечено ранее, входят приводные ультразвуковые головки, общий вид которых представлен на рис. 1.13.



Рис. 1.13. Ультразвуковые головки фирмы Dukane

Ультразвуковая головка представляет собой сборную конструкцию резонансно настроенной ультразвуковой колебательной системы и платформы, служащей базой для монтажа ультразвуковой системы.

Для качественного соединения термопластичных материалов, особенно химически и структурно разнородных и разнотолщинных, важным является обеспечение требуемого режима обработки, а именно амплитуды колебаний, усилия прижима торца волновода к заготовкам и время выдержки соединения при озвучивании. Учитывая тот факт, что в процессе ультразвуковой сварки соединяемые материалы достигают примерно 40 % температуры плавления и образования жидкой фазы, амплитуду колебаний и усилие прижима необходимо регулировать. Типовые циклограммы варьирования режимами ультразвуковой сварки представлены на рис. 1.14.

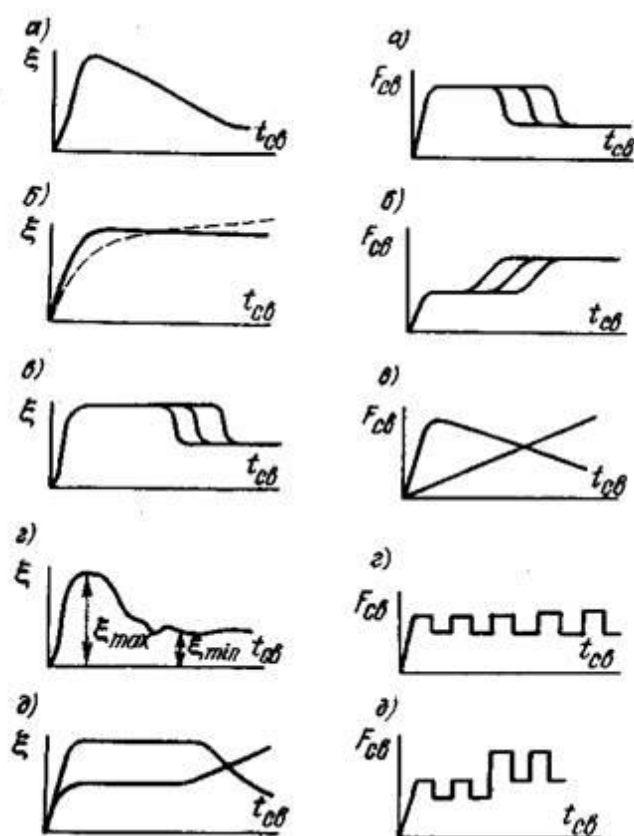


Рис. 1.14 Варианты режимов ультразвуковой сварки термопластичных материалов[7]

Для реализации режимов ультразвуковой сварки фирмой Дукаперазработано устройство, представленное на рис. 1.15. Принцип работы устройства заключается в следующем: ультразвуковая головка с помощью пневмопривода поджимается к заготовке, при этом пружина сжимается до момента срабатывания концевого микропереключателя. В момент срабатывания микропереключателя подается сигнал на ультразвуковой генератор.

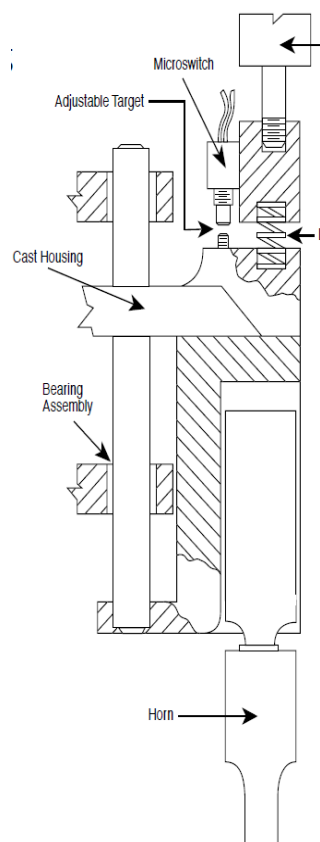


Рис. 1.15 Привод ультразвуковой головки фирмы Dukane

2. Разработка технологии ультразвуковой сборки пластиковых изделий автокомпонентов

В данном разделе выпускной работы разработаем технологию неразъемной сборки методом ультразвуковой сварки. В качестве свариваемых изделий представляются корпус и крышка расширительного бачка автомобиля семейства автомобилей LADA. На рис. 2.1 представлено фото изделия в сборе



Рис. 2.1 Расширительный бачок в сборе

Данное изделие изготавливается термопластичного материала ABS(PLA)пластика, которое легко может быть сварено с помощью ультразвука.

Изделие представляет собой две формованные половинки корпуса, полученные на термопласт автоматах или другими способами, которые далее свариваются друг с другом. Ультразвуковой сваркой также возможно обеспечить герметичное соединение пластиковых штуцеров для закрепления шлангов.

2.1 Разработка общей схемы ультразвуковой сварки

Принципиальная схема ультразвуковой сварки представлена на рис. 2.2. Деталь 1 устанавливается в специальном приспособлении 2 палетного типа. Далее ультразвуковая головка 3 с резонансной системой УЗКС и ультразвуковым генератором приводится в действие с помощью пневматическо-

го цилиндра 4. Вертикальное перемещение УЗ-головки осуществляется по направляющим 5.

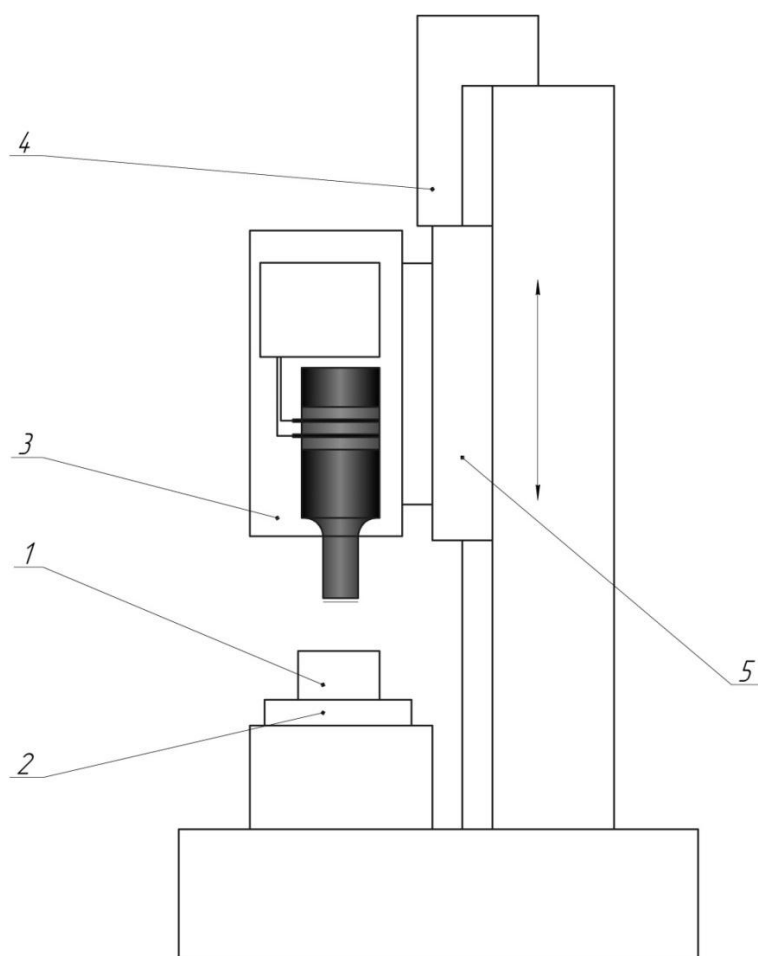


Рис. 2.2 Принципиальная схема ультразвуковой сварки

2.2 Расчет режимов ультразвуковой сварки

Расчет режима ультразвуковой сварки термопластичных материалов включает в себя определение параметров ультразвуковой энергии (амплитуды и частоты колебаний), времени воздействия ультразвуком, цикла сварки, усилия прижима инструмента к свариваемым изделиям. Рассмотрим некоторые теоретические вопросы в области ультразвуковой сварки термопластичных материалов. Для определения требуемой акустической энергии, необходимой для разогрева термопластичных материалов воспользуемся данными, полученными в работе [6], представленные в таблице 2.1 для различных материалов.

Данные по акустической энергии, необходимой для термопластического соединения материалов [6]

Табл. 2.1

Материал	$T, ^\circ\text{C}$	$\gamma, \text{г/см}^3$	$c, \text{кал (г} \cdot ^\circ\text{C)}$	$c\gamma, (\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	$Q, \text{кал/см}^3$	
					Расчет	Эксперимент
Полистирол ПС	120,0	1,05	0,320	0,33	39,4	37,8
Полиэтилен ПЭ ВД	108,0	0,92	0,600	0,55	59,4	—
Полиэтилен ПЭ НД	125,0	0,95	0,550	0,52	65,0	—
Полиметилметакрилат ПММА	160,0	1,19	0,350	0,41	65,4	62,5
Полиметилметакрилат ПЭТФ	200,0	1,31	0,250	0,33	66,0	—
Полипропилен ПП	165,0	0,91	0,460	0,41	67,65	56,0
Полиамид ПА (П68)	220,0	1,13	0,500	0,56	123,2	108,0
Олово	231,0	7,30	0,054	0,39	90,4	—
Свинец	327,3	11,37	0,030	0,34	111,3	—
Цинк	419,5	7,13	0,087	0,62	260,1	—
Алюминий	658,7	2,70	0,222	0,60	395,2	235,0
Медь	1083,0	8,94	0,101	0,90	974,7	615,0
Никель	1455,0	8,90	0,122	1,00	1455,0	945,0

На рис. 2.3 представлены данные о зависимости удельной акустической энергии, необходимой для сварки термопластичных материалов в зависимости от их объемной теплоемкости

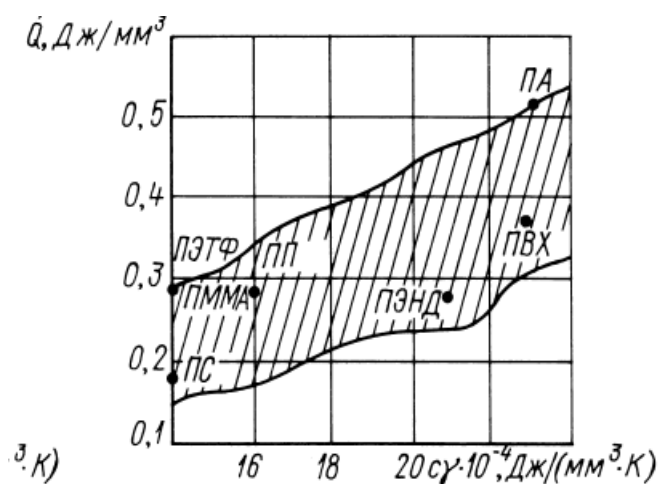


Рис. 2.3 Зависимость удельной акустической энергии от объемной теплоемкости термопластичных материалов[1].

По данным работы [6, 8] для расчета удельной энергии, необходимой для сварки однородных термопластичных материалов можно воспользоваться зависимостью:

$$, \quad (2.1)$$

где

Температуру в зоне ультразвукового источника (в зоне контакта) можно рассчитать по формуле [6]:

$$T = \frac{4Fk_T\omega\xi}{j \left[\frac{S\lambda_1}{\sqrt{at}/\pi} + \frac{2S\lambda_2}{jr4at} \right]} \quad (2.2)$$

где F – сварочное усилие, Н; k_T – коэффициент трения; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, Гц; ξ – амплитуда колебаний, мкм; j – механический эквивалент теплоты; a, λ, c – коэффициенты температуропроводности, теплопроводности, теплоемкости; S и r — площадь и радиус источника теплоты — сварочного наконечника.

Рассчитаем необходимую мощность по формуле (2.1). Для АБС пластика значение произведения удельной теплоемкости и плотности, температура плавления пластика – 200 С (473 К)

Для проварки объема $V = Sh = \pi R^2 h = 3,14 \times (5)^2 \times 5 = 392,5 \text{ мм}^3$

Рассчитаем необходимую акустическую мощность вводимой ультразвуковой энергии, идущей на нагрев материала по формуле:

$$(2.3)$$

где E – модуль упругости материала, ε – амплитуда деформации. Для условий ультразвуковой сварки примем амплитуду деформации равной $\varepsilon = 10 \text{ мкм}$. Модуль упругости свариваемого АБС пластика равен $E = 9900 \text{ МПа}$. Подставляя значения в формулу (2.3) получим:

Время сварки определим по формуле:

3. Проектирование приспособления для ультразвуковой сборки

3.1 Расчет и проектирование магнитострикционного преобразователя

Расчетная схема магнитострикционного преобразователя представлена на рис. 3.1. Преобразователь представляет собой пакет из специального материала с эффектом магнитострикции (никелевый сплав К49Ф2). Основной функцией преобразователя заключается в преобразовании электрической энергии в акустическую

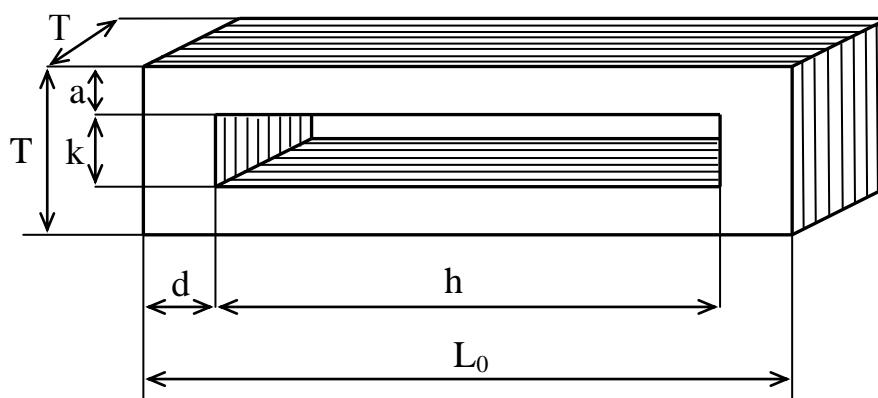


Рис. 3.1 Расчетная схема магнитострикционного преобразователя

Расчет магнитострикционного преобразователя предполагает определение его геометрических параметров (рис. 3.1)

Исходные данные для расчета магнитострикционного преобразователя приведены в таблице 3.1. Исходные данные для расчета получены на основе анализа справочной литературы

Данные для расчета магнитострикционного преобразователя
из никелевого сплава К49Ф2

Таблица 3.1

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Акустическая мощность целевая	P	Вт	298,3
Удельная акустическая мощность преобразователя	P_0	Вт/см ²	100...110
Плотность материала пластин	ρ	кг/м ³	8100
Скорость звука в материале пластин	c	м/с	5,2
Рабочая частота колебаний пакета	f	Гц	22000
Электромеханический КПД пакета	$\eta_{эм}$	-	0,6
Механо-акустический КПД пакета	$\eta_{ма}$	-	0,7
Напряжённость магнитного поля подмагничивания	$H_{маг}$	А/м	$1,6 \times 10^3$
Напряжённость магнитного поля возбуждения	$H_{воз}$	А/м	$1,3 \times 10^4$

$$T = \sqrt{\frac{P}{P_0}} = \sqrt{\frac{298,3}{100}} = 1,72 \text{ см (17,2 мм)}$$

Определим ширину стержня:

$$a = \frac{T}{3} + 0,33 = \frac{17,2}{3} + 0,33 = 6,06 \text{ мм}$$

Высота накладки:

$$d = a + 0,75 = 6,06 + 0,75 = 6,81 \text{ мм}$$

Высота окна:

$$h = \frac{c}{\pi f} \arctg\left(\frac{2a}{T \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi f d}{c}\right)}\right) = \frac{5200}{3,14 \cdot 22000} \arctg\left(\frac{2 \cdot 6,06}{17,2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 22000 \cdot 6,81}{5200}\right)}\right) = 97,8 \text{ мм}$$

Ширина окна:

$$k = T - 2a = 17,2 - 2 \cdot 6,06 = 5,08 \text{ мм}$$

Длина пакета:

$$L_0 = h + 2d = 97,8 + 2 \cdot 6,81 = 111,42 \text{ мм}$$

Удельное волновое сопротивление:

$$w_0 = \rho c = 8100 \cdot 5,2 = 42120$$

Средняя длина пути независимого магнитного потока:

Количество ампер-витков подмагничивания:

3.2 Расчет и проектирование ультразвукового волновода

В качестве ультразвукового волновода будем использовать концентратор экспоненциальной формы. Узкий конец волновода, нагруженный на технологическую среду, имеет равный диаметру получаемой сварной точки, т.е. 10 мм. Материал концентратора – титановый сплав BT3-1

Резонансную длину ультразвукового волновода определим по формуле [8, 9]:

$$l = \frac{nc}{2f} \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2\right)}, \quad (3.1)$$

где n – целое число полуволн, приходящихся на длину волновода (примем $n=1$); c – скорость звука, м/с; k – коэффициент усиления концентратора

$$k = \frac{D_1}{D_2}$$

Скорость звука в металлических материалах определяется известным соотношением:

$$(3.2)$$

где E – модуль упругости материала (для титанового сплава ВТЗ-1

$E = 1,16 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}; \rho = 4,52 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$). Приводя значения к единой системе и подставляя в формулу (3.2) получим значение для скорости звука:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{1,16 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}\right)}{4,52 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}\right)}} = 5,07 \cdot 10^6 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$$

Примем коэффициент усиления концентратора, равным 4, $k = \frac{D_1}{D_2} = 4$.

По формуле (3.1) рассчитаем резонансную длину волновода:

$$l = \frac{nc}{2f} \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2\right)} = \frac{5,07 \cdot 10^6}{2 \cdot 22000} \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\ln 4}{3,14 \cdot 1}\right)^2\right)} = 115,22 \text{ мм}$$

Поскольку принятая форма концентратора экспоненциальная, то закон изменения диаметра по длине концентратора выражается соотношением:

$$D_x = D_1 \exp\left(-\frac{\alpha x}{2}\right), \quad (3.3)$$

где α – показатель образующей, рассчитываемый по формуле:

$$\alpha = \frac{2 \ln k}{l} = \frac{2 \ln 4}{115,22} = 0,024$$

По формуле (3.3) можно рассчитать диаметр концентратора в каждом сечении:

$$D_x = D_1 \exp\left(-\frac{\alpha x}{2}\right) = 20 \exp(-0,012x)$$

Для закрепления ультразвукового концентратора в приспособлении необходимо знать сечение в котором смещение равно нулю, т.е. рассчитать узел скорости колебаний, который определяется по формуле:

3.3 Расчет и проектирование привода ультразвуковых головок

Для перемещения ультразвуковой головки в вертикальном положении предлагается использовать в качестве узлов подачи линейные шарико-винтовые привода с программным управлением позиционированием рабочего органа. Привод линейного позиционирования, представленный на рис. 3.2 имеет шаговый электродвигатель постоянного тока 1 вал которого посредством муфты 2 соединен в валом шарико-винтовой пары 6. Вал 6 жестко установлен на опорах качения в корпусе привода 3, на котором также установлены направляющие скольжения 4.

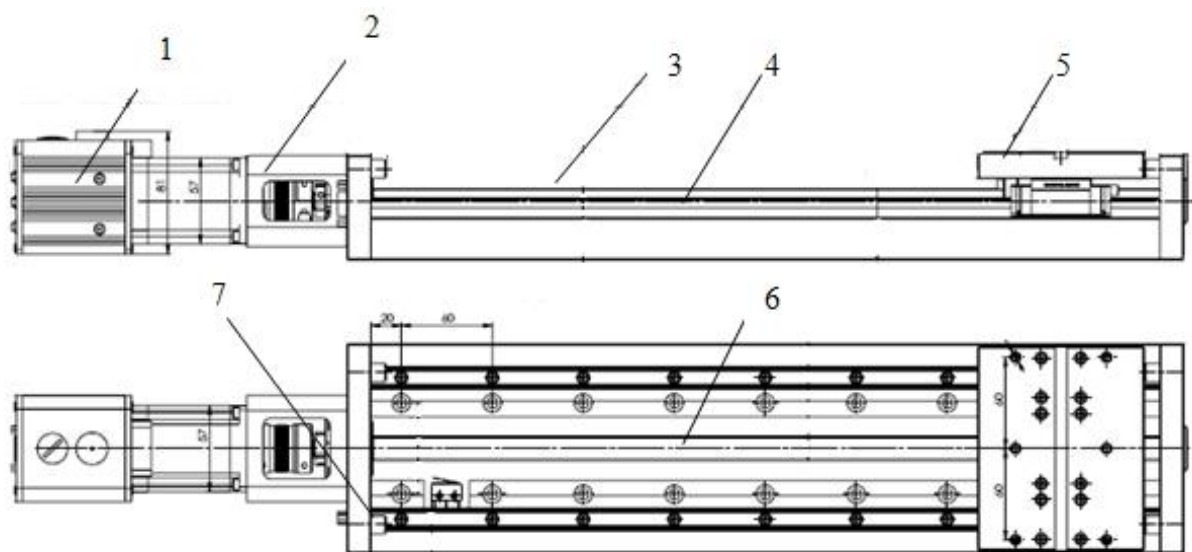


Рис. 3.2. Общий вид программируемого линейного привода:

1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – линейный привод; 4 – направляющие качения;; 5 – каретка; 6 – шарико-винтовая пара; 7 – концевые выключатели

Направляющие 4 служат для обеспечения прямолинейного движения каретки привода 5, для ограничения предельного хода которой служат концевые выключатели 7. Исполнительные устройства крепятся непосредственно к внешней плите 8, установленной на каретке 5. Подключение питания и внешнего интерфейса к двигателю 1 привода осуществляется посредством панели контактных разъемов 9.

В зависимости от способа компоновки исполнительных устройств кинематические связи реализуются с применением одновременно нескольких линейных приводов в одном устройстве. Так предложено конструктивное исполнение, которое включает три линейных привода соединенные между собой в направлении осей OX, OY, OZ (рис.3.3).

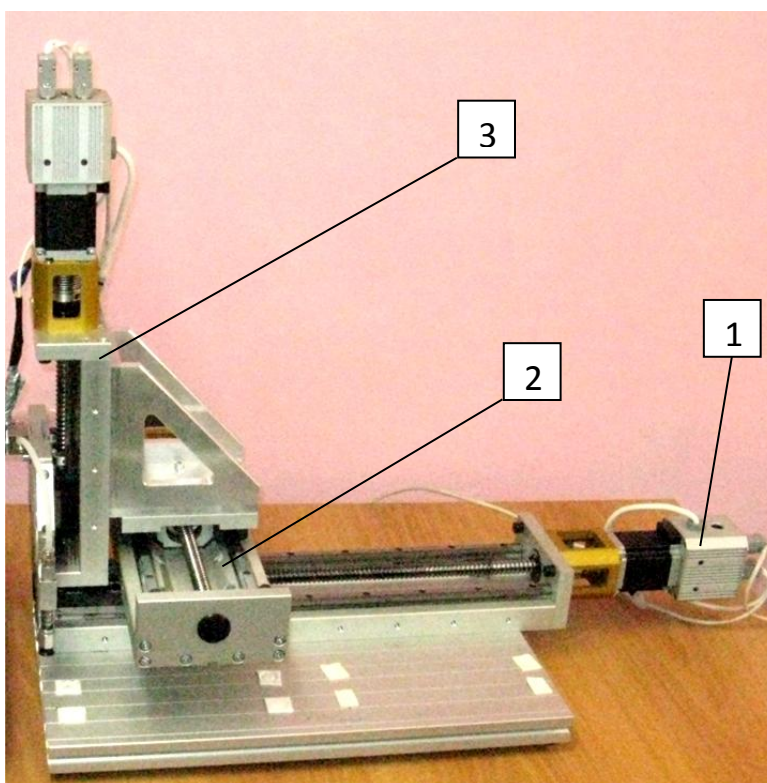


Рис.3.3. Вариант компоновки оборудования с 3-мя управляемыми осями

Таким образом, обеспечивается возможность подачи ультразвуковой головки одновременно по нескольким направлениям и с заданной скоростью.

4.Безопасность и экологичность технического объекта

4.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Технология ультразвуковой сварки термопластичных материалов для автомобильной промышленности. Разработанная в рамках работы технология реализуется на спроектированной технологической установке – полуавтоматическом станке для ультразвуковой сборки. Основными узлами оборудования являются ультразвуковая головка, приводные узлы линейного позиционирования ультразвуковой головки в зону сварки, приводные узлы перемещения приспособления для установки и закрепления свариваемых деталей.

Технологический паспорт объекта

Таблица 4.1

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
	Технологический процесс ультразвуковой неразъемной сборки термопластичных материалов на проектируемой установке ультразвуковой сварки	Технологическая операция ультразвуковой сборки включает в себя установку изделий в приспособлении, их автоматической подачей в зону сварки, непосредственно ультразвуковая сварка в автоматическом	Оператор ультразвуковых установок	Полуавтоматическая установка для ультразвуковой сборки; приспособления для установки частей свариваемых заготовок	Пластмасса АБС-пластик

		режиме, подача собранных заготовок из рабочей зоны в зону разгрузки			
--	--	---	--	--	--

4.2. Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков

Таблица 4.2

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1.	Технологическая операция ультразвуковой сборки;	повышенный уровень ультразвука;	Ультразвуковая колебательная система
2.	Установка/снятие заготовок и готовых изделий в приспособлении	статические физические перегрузки; монотонность труда;	Полуавтоматический станок для ультразвуковой сборки

4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.

В данном разделе необходимо подобрать и обосновать используемые организационно-технические методы и технические средства (способы, устройства) защиты, частичного снижения, или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора. Методы и средства защиты выбираются по действующим на данный момент времени нормативным документам согласно Приложения 3, в зависимости от типа реализуемого технологического процесса, используемого состава производственно-

технологического и инженерно-технического оборудования, используемых технических средств ослабления или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора и применяемых для этих целей при необходимости средств индивидуальной защиты работника.

Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Таблица 4.3

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
	повышенный уровень ультразвука	1. Дистанционное управление оборудованием; 2. Автоблокировка самовключения и самовозбуждения ультразвукового генератора;	1. Две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные; 2. противошумы по ГОСТ Р 12.4.213-99.
	статические физические перегрузки	1. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов	

	монотонность труда	тов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы; 2.Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног.	
--	--------------------	---	--

4.4. Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта

4.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Результаты идентификации класса возможного пожара, возникающих при этом опасных факторов пожара и их сопутствующих проявлений при использовании технологии и установки для ультразвуковой сварки термопластичных материалов приведены в таблице 4.4

Идентификация классов и опасных факторов пожара

Таблица 4.4

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Клас с по- по- жара	Опасные фак- торы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожа- ра
1.	Участок сборки термопластичных материалов	Полуавтомат для ультразвуковой	А	1) тепловой поток; 2) повышенная температура	термохимические воздействия используемых при пожа-

		сварки		окружающей среды; 3) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	ре огнетушащих веществ на предметы и людей.
--	--	--------	--	---	---

4.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта (дипломного проекта).

Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Таблица 4.5

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.
переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-1, ОП-2;	пожарные автомобили (основные и специальные	переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-2;	извещатели пожарные тепловые ИП 101-8-A1 ГОСТ Р 53325-2012	Подставка напольная для ОП-2, универсальная) Кронштейн (пластик) для ОП-1, ОП-2 Подставка квадратная П-10 шт. Кронштейн ТГ-2 транспортный с металлической защелкой для ОП-2, ОУ-2	средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения; средства индивидуальной защиты пожарных.	Топор, лом, ведра,	ручной ИР-П; тепловой ИП-105; дымовой ИПД-1; извещатель пламени ИП

продолжение таблицы 4.5

пожарные краны и средства обеспечения их использо- вания		пожарный инвентарь;		Устройство пожароту- шения (кол- ба)			
пожарный инвентарь;							
покрывала для изоляции очага возго- ражения.							

4.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Табл. 4.6

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технологический процесс ультразвуковой неразъемной сборки термопластичных материалов на проектируемой установке ультразвуковой сварки	защиту технологических процессов установками пожаротушения; применение пожарной сигнализации и систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; обучение персонала предприятий способам ликвидации аварий	Требования по ликвидации условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций; периодической очистки территории, на которой располагается объект, помещений, коммуникаций, аппаратуры от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т. п.; удалением пожароопасных отходов производства; применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники; применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения; организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей; применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара; устройством аварийного отключения и переключения установок и коммуникаций; организационно-технические мероприятия должны включать: организацию пожарной охраны, организацию ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с законодательством. паспортизацию веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений объектов в части обеспечения пожарной безопасности; привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности; организацию обучения работа-

		<p>ющих правилам пожарной безопасности на производстве;</p> <p>разработку и реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и действиях людей при возникновении пожара;</p> <p>изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности;</p> <p>разработку мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих и населения на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей;</p> <p>Применяемая пожарная техника должна обеспечивать эффективное тушение пожара (загорания), быть безопасной для природы и людей.</p>
--	--	---

4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.

Идентификация экологических факторов технического объекта

Таблица 4.7

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное	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,
--	---	--	--	--

	средство и т.п.			нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Технологический процесс ультразвуковой неразъемной сборки термопластичных материалов на проектируемой установке ультразвуковой сварки	Процесс ультразвуковой сварки термопластичных материалов; Пневматическая и электрическая система приводов линейного перемещения	нет	нет	нет

4.6. Выводы по разделу

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса ультразвуковой сборки термопластичных материалов для автомобильной промышленности, перечислены технологические операции, указаны должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу ультразвуковой сборки, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие:

- повышенный уровень ультразвука;
- статические физические перегрузки;
- монотонность труда;

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков; подобра-

ны средства индивидуальной защиты, представленные в таблице 4.3.

4. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.

5. Экономическая эффективность работы

5.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки

В предлагаемом технологическом процессе сборки термопластичных материалов автокомпонентов, в частности при изготовлении расширительных бачков, используется разработанная технология ультразвуковой сварки взамен технологии склеивания.

Как было рассчитано в разделах технической части ультразвуковая сварка позволяет в несколько раз повысить производительность сборки, а также исключить ряд промежуточных материалов. Произведем расчет себестоимости по двум сравниваемым вариантам. Калькуляция себестоимости представлена в таблице 5.1

Калькуляция себестоимости сборки узла по вариантам технологического процесса

Таблица 5.1

№	Статьи затрат	Затраты, руб.	
		Базовый	Проект
1	Заработная плата основных производственных рабочих	7,66	4,44
2	Дополнительная заработанная плата	0,613	0,355
3	Отчисления на социальные нужды	2,97	1,73
4	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: $P_{\text{Э.ОБ}}$	45,75	27,32
5	Итого технологическая себестоимость: $C_{\text{ТЕХ}} = Z_{\text{ПЛ.ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + O_{\text{С.Н.}} + P_{\text{Э.ОБ}}$	57,36	35,83
6	Общехозяйственные накладные расходы: $P_{\text{ЦЕХ}} = Z_{\text{ПЛ.ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}}$	16,45	5,51
7	Итого цеховая себестоимость: $C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}}$	73,81	40,34
8	Заводские накладные расходы: $P_{\text{ЗАВ}} = Z_{\text{ПЛ.ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}}$	14,55	8,44
	Итого заводская себестоимость $C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}}$	88,56	48,78
7	Внепроизводственные расходы $P_{\text{ВН}} = C_{\text{ЗАВ}} \cdot K_{\text{ВНП}}$	4,45	2,69
	Всего полная себестоимость $C_{\text{ПОЛ}} = C_{\text{ЗАВ}} + P_{\text{ВН}}$	93,1	51,47

Снижение себестоимости обработки детали рассчитываем по формуле:

$$\Delta C_{\text{полн.}} = \frac{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} - C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}}}{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{93,1 - 51,47}{93,1} \cdot 100\% = 39,2\%$$

Снижение трудоемкости:

$$\Delta t_{\text{шт.}} = \frac{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}} - t_{\text{шт.}}^{\text{пр.}}}{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{3,48 - 1,89}{3,48} \cdot 100\% = 45\%$$

Повышение производительности:

$$\Delta \text{ПТ} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт.}}}{100 - \Delta t_{\text{шт.}}} (\%)$$

$$\Delta \text{ПТ} = \frac{100 \cdot 0,45}{100 - 0,45} \cdot 100\% = 45,2\%$$

5.2. Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости обработки детали:

$$P_{\text{ож}} = \Delta C_{\text{полн.}} \cdot P_{\text{г}} = (93,1 - 51,47) \cdot 2000 = 83260 \text{ руб}$$

Налог на прибыль:

$$H_{\text{приб}} = P_{\text{ож}} \cdot K_{\text{нал}} = 83260 \cdot 0,2 = 16652,00 \text{ руб}$$

Чистая прибыль:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{ож}} - H_{\text{приб}} = 83260 - 16652 = 66608,00 \text{ руб}$$

Расчетный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта:

$$T_{OK.PACЧ} = \frac{K_{ПР.ОБЩ}}{П_{Р.ЧИСТ}} = \frac{259,771,2}{66608} = 3,8 = 4 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект от внедрения в технологический процесс более производительного оборудования рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{год.} &= \left[\left(C_{полн.}^{баз.} + E_n \cdot K_{уд.}^{баз.} \right) - \left(C_{полн.}^{пр.} + E_n \cdot K_{уд.}^{пр.} \right) \right] \cdot N_z = \\ &= [93,1 + 0,33 \cdot 177,58 - (51,47 + 0,33 \cdot 200,47)] \cdot 2000 = 68149,8 \end{aligned}$$

Технико-экономические показатели эффективности введем в таблицу 5.2

Технико-экономические показатели эффективности проекта

Таблица 5.2

№	Наименование показателей	Условное обозначение, единица измерения	Значение показателей	
			Базовый	Проект.
Технические параметры проекта				
1	Количество оборудования	$C_{ПР.ОБЩ}, шт$	6	1
3	Длительность производственного цикла	$T_{Ц}, мин$	3,49	1,89
Экономические показатели проекта				
1	Годовая программа выпуска	$П_{Г}, шт$	7500	
2	Себестоимость единицы изделия	$C_{ПОЛ}, руб$	93,1	51,47
5	Чистая прибыль	$П_{Р.ЧИСТ}, руб$	66608	
6	Налог на прибыль	$Н_{ПРИБ}, руб$	16652	
7	Срок окупаемости капитальных вложений	$T_{ОК.РАСЧ}, лет$	4	

В результате усовершенствования технологии снизилась себестоимость обработки на 39,2 % и трудоемкость обработки на 45 %. Производительность труда выросла на 45,2 %. Ожидаемая прибыль от снижения себестоимости составила 83260 руб. Годовой экономический эффект от модернизации оборудования составил 68149,8 руб. Срок окупаемости 4 года.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработана технология ультразвуковой сварки термопластичных материалов автокомпонентов и техническое оснащение для ее реализации. Данная технология позволяет эффективно осуществлять неразъемную сборку автомобильных комплектующих из пластиковых материалов по сравнению с традиционными методами сборки (склеиванием, термическое воздействие). В ходе работы рассчитано и спроектировано техническое оснащение для полуавтоматической сварки материалов, разработаны ультразвуковые колебательные системы и элементы приводов ультразвуковых головок. В рамках выпускной квалификационной работы освещены вопросы безопасности и экологичности технического объекта, а также представлено экономическое обоснование эффективности внедрения технологии в автомобильной промышленности

Список используемой литературы

1. www.Branson-PlasticsJoin.com
2. <http://www.dukane.com>
3. <http://www.telsonic.com>
4. Справочное руководство по ультразвуковой сварки пластиков (GuidetoUltrasonicPlasticsAssembly).DukanePartNo. 403-536-02, August, 2011.
5. Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1988. – 224 с.: ил.
6. Холопов Ю. В. Машиностроение : ультразвук: УЗС, БУФО, ГЕО / проф. Ю. В. Холопов. — Санкт-Петербург : ООО «Типография «Береста», 2008. — 328 с.
7. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1986. – 256 с.
8. Шутилов А.В. Основы физики ультразвука – Л.:Издательство Ленинградского университета, 1980. – 280с.: ил.
9. Ультразвуковая технология. под ред. Б. А.Аграната, - М., Металлургия, 1974.
10. R. Leaversuch. “How to Use those Fancy Ultrasonic Welding Controls” Plastics Technology. Oct 2002
11. T. Kirkland. “Ultrasonic Welding: The Need for Speed Control” Plastics Decorating.July/August, 2012.
12. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» / Л.Н. Горина, М.И. Фесина, - учебн. метод пособие: ТГУ, 2016 г.

Приложения

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					<u>Документация</u>		
	A1				Головка для УЗ сварки	1	
					<u>Сборочные единицы</u>		
	Б4		1		УЗКС в сборе	1	
	Б4		10		Датчик давления в сборе	1	
Подп. и дата					<u>Детали</u>		
	Б4		4		Корпус	1	
	Б4		4		Державка	1	
	Б4		5		Крышка	1	
	Б4		6		Шток-поршень	1	
	Б4		7		Кольца уплотнительные	2	
	Б4		8		Втулка резьбовая	1	
	Б4		9		Кольцо специальное	1	
	Б4		11		Втулка защитная	1	
	Б4		12		Крышка	1	
			14		Штуцер специальный	1	
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Шинин				Лит.	Лист
	Пров.	Селиванов				Д	1
	Н.контр.					Листов	
	Утв.	Бобровский				2	
Ультразвуковая головка для сварки термопластичных материалов						ТМБЗ-1132	

Копировал _____ Формат А4

