

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.03.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки)

Современные технологические процессы изготовления деталей в машиностроении
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Технология и оборудование для изготовления вставки панели приборов
легкового автомобиля»

Обучающийся

И.А. Мирный
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

преподаватель, Н.Г Спиридонов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент О.М. Сярдова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Аннотация

В настоящей работе представлена разработка технологического процесса и оборудования для ручной ультразвуковой сварки накладок вставки панели приборов легкового автомобиля из полипропилена марки Armlen PP MF20-15IM. Проанализированы перспективы применения полимерных материалов в автомобилестроительном производстве. Выполнено сравнение существующих методов сборки полимерных материалов. Отмечена перспектива развития ультразвуковой сварки, как наилучшего способа получения неразъемных соединений полимеров. Проанализированы технические решения и научные работы в области ультразвуковой сварки.

В ходе работы разработаны элементы ультразвукового ручного комплекса для сварки накладок вставки панели приборов легкового автомобиля, спроектирован технологический процесс. А также сформулированы меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности на техническом объекте, выполнен расчет по экономической эффективности применения ультразвукового оборудования для сварки различной степени автоматизации.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ применения ультразвуковой сварки в производстве пластиковых элементов автомобилей.....	7
1.1 Анализ и перспективы использования полимерных материалов в автомобилестроение.....	7
1.2 Анализ исходных данных.....	10
1.2.1 Описание вставки панели приборов легкового автомобиля.....	10
1.2.2 Описание материала вставки панели приборов.....	13
1.3 Анализ способов сборки изделий из полимерных материалов.....	14
1.4 Описание физических основ ультразвуковой сварки.....	17
1.5 Обзор мировых технических решений ультразвуковой сварки полимерных материалов.....	24
1.6 Анализ исследований в области ультразвуковой сварки полипропилена и его сополимеров.....	29
2 Разработка оборудования для ручной ультразвуковой сварки вставки панели приборов.....	36
2.1 Расчет пакета для магнитостриктора.....	36
2.2 Разработка волновода для сварки.....	39
2.3 Разработка ручного устройства для ультразвуковой сварки.....	43
2.4 Разработка ультразвукового генератора.....	45
3 Разработка технологического процесса сборки вставки панели приборов легкового автомобиля.....	46
3.1 Расчет параметров режима ультразвуковой сварки.....	46
3.2 Описание технологического процесса сборки вставки панели приборов легкового автомобиля.....	48
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	50

4.1	Конструктивно-технологические и организационно-технические характеристики ультразвуковой сварки вставки панели приборов.....	50
4.2	Идентификация профессиональных рисков.....	51
4.3	Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	51
4.4	Обеспечение пожарной безопасности.....	53
4.5	Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	56
4.6	Заключение по разделу безопасность и экологичность технического объекта.....	56
5	Экономическая эффективность работы.....	58
5.1	Калькуляция себестоимости ультразвуковой сварки.....	58
5.2	Расчет показателей экономической эффективности.....	65
	Заключение.....	67
	Список используемой литературы и используемых источников.....	68

Введение

В наше время различные полимерные начинают все активнее применяться для изготовления различных изделий во многих отраслях, вытесняя общепринятые стандартные конструкционные материалы, к которым относятся металлы и сплавы, стекло, керамика и другие [5]. По данным консалтинговой компании «Интернешнл Пластик Гайд» объем мирового производства полимерных материалов с 2000 года вырос практически в 3 раза и в конце 2022 года составил более 300 миллионов тонн [8]. Такой спрос на полимерные материалы объясняется их дешевизной, простотой изготовления из них изделий, высокой коррозионной стойкостью и малым весом.

Среди полимерных материалов полиолефины занимают лидирующую позицию по масштабам производства. К данной группе пластиков относятся: полипропилен, полиизобутилен, полиэтилен и другие. На сегодняшний день полиэтилен, применяемый в основном для изготовления упаковки, находится на первом месте по объему производства, а полипропилен, применяемый для создания различных изделий, на четвертом [10].

Около 40 процентов полипропилена и сополимеров на его основе используется в автомобилестроение для изготовления различных деталей экстерьера и интерьера современных транспортных средств [13]. Такое массовое использование полипропилена в производстве предполагает поиск и улучшение технологий сборки изделий из данного материала.

Одним из наиболее развивающихся методов получения монолитного соединения из полимерных материалов является ультразвуковая сварка [23]. Однако из-за сложности ультразвукового оборудования и малого числа специалистов в данной области науки и техники, производители пластиковых изделий из полипропилена для автомобилестроения сталкиваются с проблемами настройки, разработки, ремонту ультразвукового оборудования

для сварки и поиску оптимальных режимов ультразвуковой сварки, обеспечивающих требуемую прочность соединения.

В связи с этим, целью работы является, повышение эффективности ультразвуковой сварки вставки панели приборов легкового автомобиля, за счет разработки требуемого ультразвукового оборудования и технологического процесса.

1 Анализ применения ультразвуковой сварки в производстве пластиковых элементов автомобилей

1.1 Анализ и перспективы использования полимерных материалов в автомобилестроение

Сегодня уже невозможно представить обычную жизнь без пластиков, которые все более интенсивно вливаются в различные отрасли производства, в том числе и в автомобилестроение. Ежегодно появляются десятки видов новых конструкционных полимерных материалов, которые по своим механическим и эксплуатационным свойствам не уступают металлам, а иногда и превосходят их в несколько раз. Внедрение подобного рода материалов в конструкции новых автомобилей, несомненно, дает скачок производства.

Начиная с семидесятых годов прошлого века, экспертами прослеживается тенденция по уменьшению доли металлических изделий, входящих в конструкцию автомобиля. К примеру, за последние пятьдесят лет доля стали в автомобиле снизилась с 79 % до 55 %. Доля полимерных материалов напротив выросла в три раза с 6 до 18 процентов. По прогнозам экспертов активное появление новых видов полимеров будет способствовать увеличению их доли в конструкции автомобилей примерно на 7 % в год [6].

Такой активный рост применения полимерных материалов за место металлов, несомненно, обусловлен некоторыми их техническими и экономическими преимуществами, а именно:

- малая масса;
- коррозионная стойкость перед водой;
- легкий технологический процесс производства;
- низкая стоимость;
- возможность изготовления изделий сложной формы [3].

Более того инженеры автомобилестроительной промышленности ежегодно сталкиваются с «ужесточающимися нормами по предельно допустимым выбросам вредных веществ транспортных средств. Так, например, в Европе, согласно «Закону о среднем допустимом расходе топлива автомобилем» к 2025 году расход топлива автомобилем не должен превышать 4.32 л. на 100 км. А средний выброс углекислого газа на новых автомобилях не должен быть больше 95 г. на 1 км. Для соответствия данным нормам автомобилестроители заменяют материал некоторых деталей автомобиля на более лёгкий, такой как пластик» [18].

Одними из самых наиболее востребованных пластиков являются сополимер акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС), полипропилен и сополимеры на их основе. На рисунке 1 представлена схема различных элементов современного легкового автомобиля, выполненных из полимеров.



Рисунок 1 – Пластиковые элементы легкового автомобиля

Некоторые полимеры, такие как поливинилхлорид (ПВХ), применяются для создания шлангов, изоляции проводки, ручек, кнопок и тому подобное. Пленки на основе ПВХ также идут для отделки внутренней обшивки автомобиля.

Для повышения безопасности зачастую пружинные сиденья снабжают подушками из эластичного пенополиуретана, что повышает комфорт и надежность опоры и за счет этого способствует уменьшению утомляемости водителя. Также монолитный пенополиуретан применяется для подшипников рулевого управления, подвески, ремней приводов.

Полиамид и его сополимеры идут на изготовление вентиляторов, топливопроводов, направляющих, корпусов датчиков.

Не редкость стало применение полиэтилена для изготовления топливных баков до ста литров [17].

Более того уже сегодня на рынке существуют автомобиле в которых значительная часть элементов выполнена из полимерных материалов. На рисунке 2 изображен BMW i3, серийный «пластиковый» электромобиль.



Рисунок 2 – BMW i3

Компания Alfa Romeo выпустили первый в истории спорткар с углепластиковым кузовом, изображенным на рисунке 3. Масса кузова составляет 63 килограмма, а масса всего автомобиля 895 килограмм [1].



Рисунок 3 – Спорткар Alfa Romeo C4

1.2 Анализ исходных данных

1.2.1 Описание вставки панели приборов легкового автомобиля

Вставка панели приборов (рисунок 4) является одним из важных и неотъемлемых элементов любого легкового автомобиля.



Рисунок 4 – Вставка панели приборов в сборе

От ее эргономики зависит внешний вид практически всего интерьера любого транспортного средства, так как именно вставка панели приборов постоянно находится на виду у водителя и пассажиров. Кроме этого именно на ней располагается большинство элементов контроля и отслеживания состояния транспортного средства.

В данной работе рассматривается вставка панели приборов, модель которой представлена на рисунке 5, толщиной 2.7 миллиметра, изготовленная из модифицированного полипропилена типа Армлен.

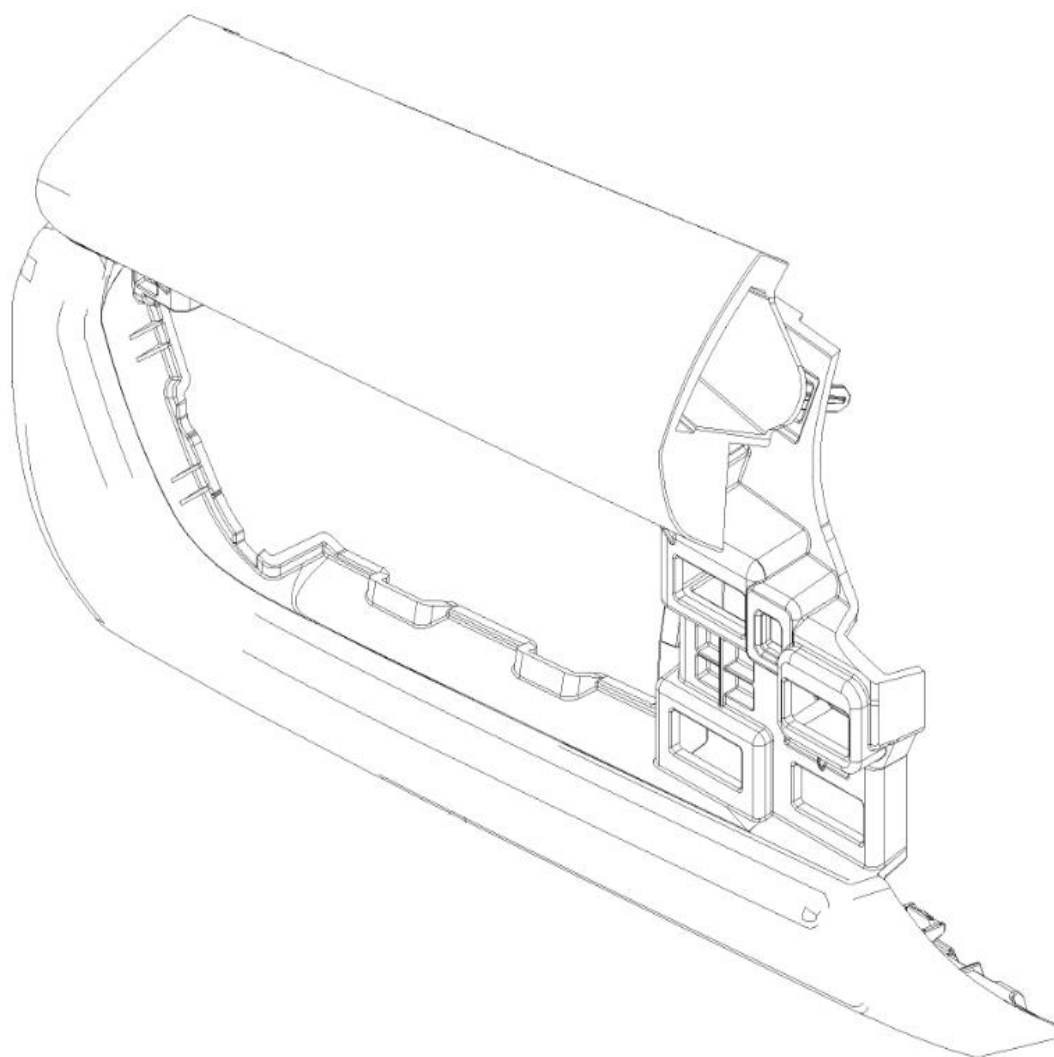
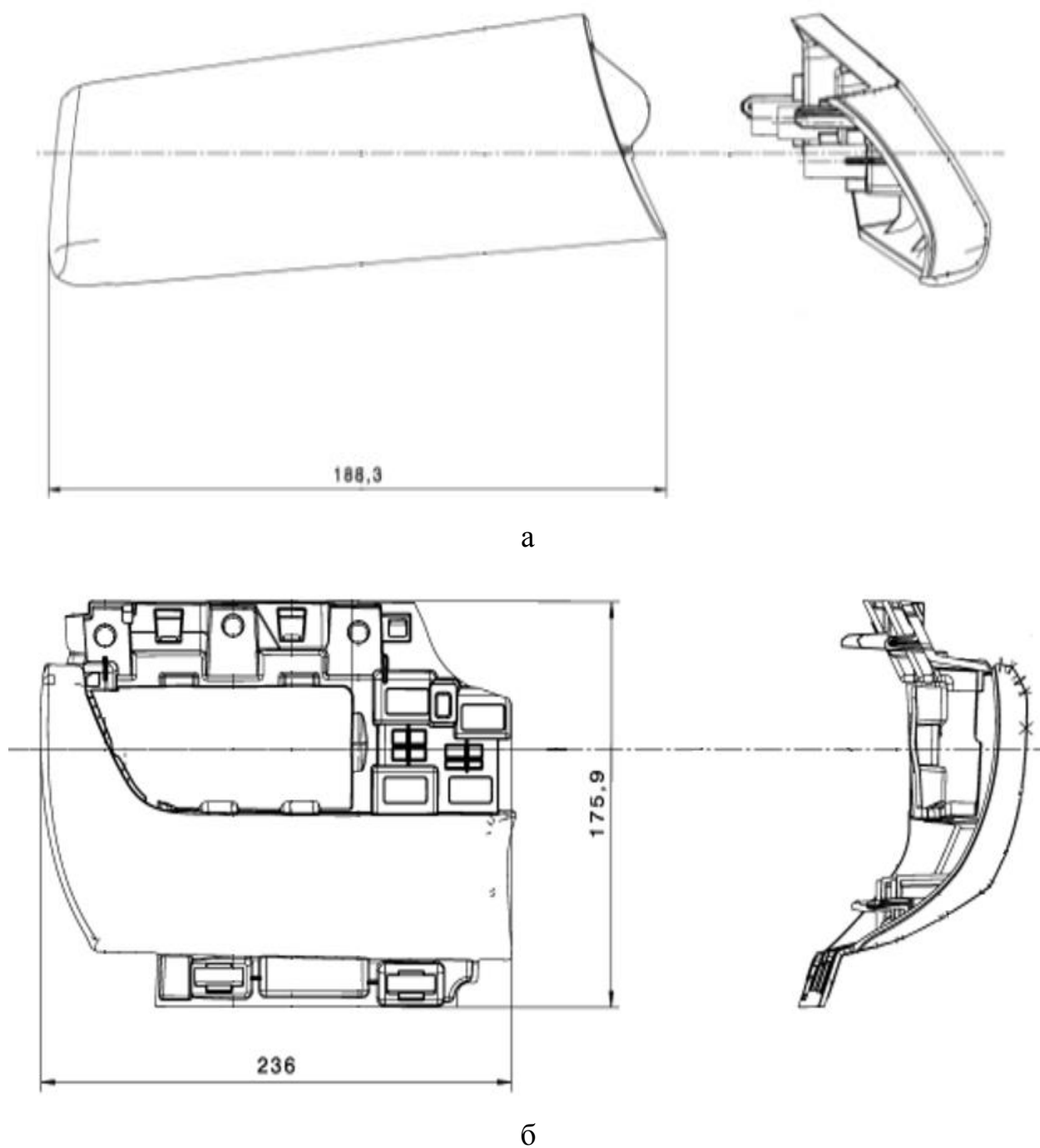


Рисунок 5 – Вставка панели приборов легкового автомобиля

Данная вставка состоит из верхней (рисунок 6 а) и нижней (рисунок 6 б) накладок:



а – верхняя накладка, б – нижняя накладка

Рисунок 6 – Элементы вставки панели приборов

Накладки соединяются путем оплавления трех пинов, расположенных на верхней части вставки панели приборов. Чертеж пинов в разрезе представлен на рисунке 7:

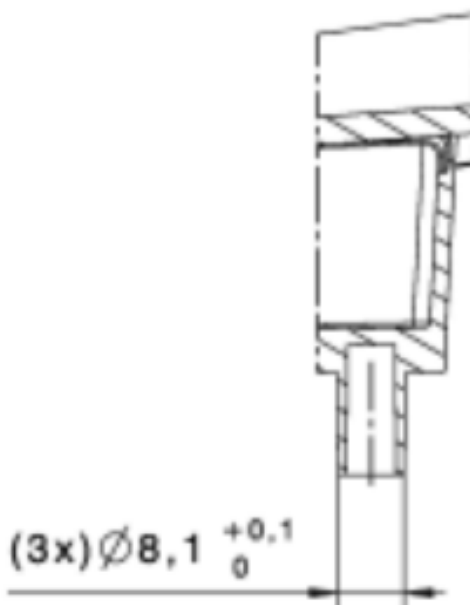


Рисунок 7 – Пин крепления накладок

1.2.2 Описание материала вставки панели приборов

Накладки вставки панели приборов выполнены из наполненного и модифицированного композита на основе полипропилена марки Armlen PP MF20-15IM. В качестве наполнителя в объеме 20% выступают минеральные структурированные волокна, помимо этого материал модифицирован 15% добавками, повышающими ударпрочность.

«К основным особенностям Armlen PP MF20-15IM относят: стойкостью к термокороблению, способность работы от минус 60 до плюс 150 °С, низкий коэффициент трения, износостойкость при механических нагрузках и повышенных температурах в агрессивных средах» [21].

«Физические и механические свойства Armlen PP MF20-15IM приведены в таблице 1» [14].

Таблица 1 – Физические и механические свойства Armlen PP MF20-15IM

Параметры	Показатель
Плотность	2,43 г/см ³
Температура изгиба под нагрузкой	74-108 °С
Коэффициент расширения	$0.6 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$
Коэффициент теплопроводности	0,4 Вт/(м·°С)
Удельная теплоемкость	1.5-2.5 кДж/(кг·°С)
Температура плавления	240 °С
Модуль упругости	10.2 МПа

1.3 Анализ способов сборки изделий из полимерных материалов

В современной промышленности для соединения деталей выполненных из пластика используют три основных разновидности сборки, которые продемонстрированы на рисунке 8.

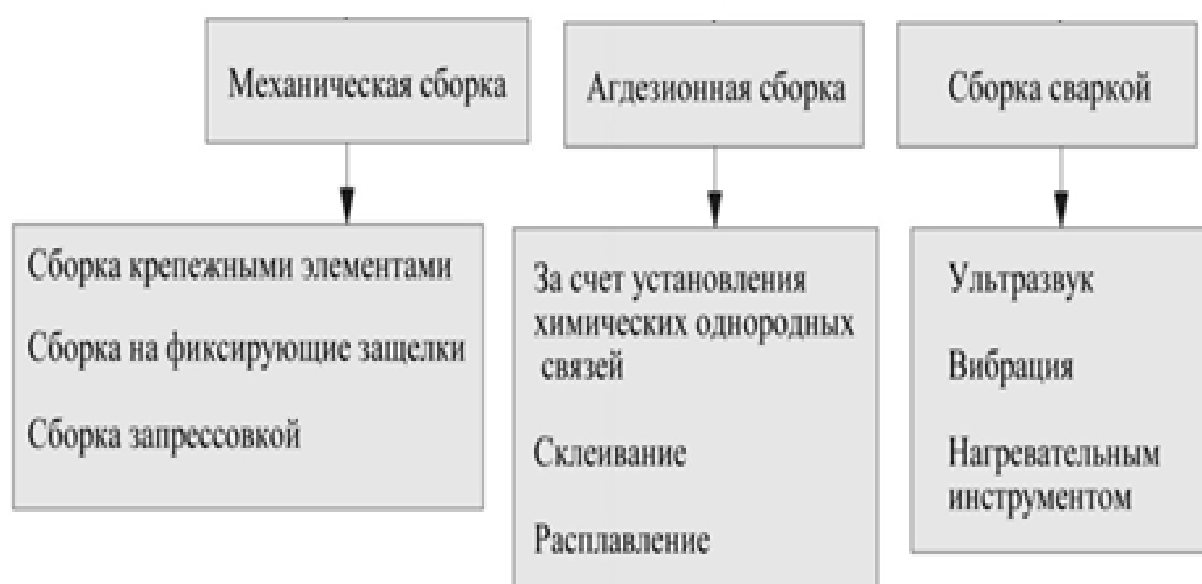


Рисунок 8 – Методы сборки изделий из полимеров

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из представленных способов.

Механическая сборка представляет собой методы для получения разъемных соединений полимерных деталей за счет использования различного рода крепежей в виде метизов или элементов конструкции. К преимуществам данного способа можно отнести:

- простота;
- не требует подготовки поверхностей;
- низкая стоимость дополнительных материалов.

К явному и значимому недостатку механической сборки можно отнести – потерю качества соединения в процессе работы, особенно если изделие работает под воздействием нагрузки или колебаний. Также для получения герметичного механического соединения требуется применение различного рода герметиков и уплотнительных колец, что в свою очередь ликвидирует практически все преимущества данного метода [11].

Адгезионная сборка включает в себя методы получения неразъемных соединений путем активации соединяемых поверхностей различными растворами или расплавами, с дальнейшим их плотным прижатием друг к другу для установления межмолекулярных связей. К преимуществам данных методов можно отнести:

- соединение разнородных материалов;
- простота;
- соединение изделий сложной формы.

Существенным недостатком этих методов является – подготовка поверхности перед сборкой. Так как для получения прочного соединения требуется тщательная зачистка поверхности и ее обезжиривание, на что тратится время и дополнительные материалы. Что, в свою очередь, может существенно повысить стоимость изготовления изделия, так как некоторые промышленные химические клеевые составы имеют немалую стоимость [2].

Отдельное внимание хочется уделить последнему способу сборки изделий из полимерных материалов – сборка сваркой. Классификация разновидностей этого метода представлена на рисунке 9.

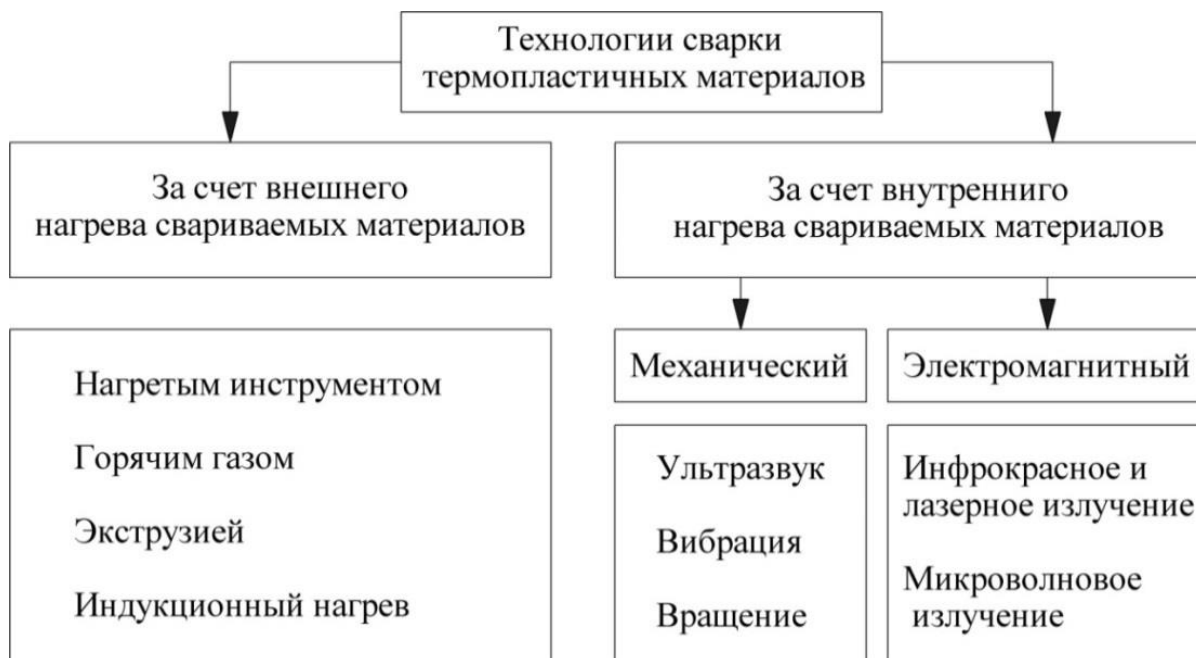


Рисунок 9 – Классификация видов сварки полимеров

Как видно из схемы все виды сварки разделяются на две большие группы по способам нагрева свариваемых поверхностей. И многие из них имеют одинаковые минусы, а именно:

- практически все требуют обязательной подготовки поверхности;
- необходимо полное обезжиривание перед сборкой;
- требуется высокий уровень мастерства рабочего;
- затрачиваются расходные материалы.

«Но из всех технологий сварки термопластичных полимерных материалов можно выделить ультразвуковую сварку. Так как она превосходит остальные способы и методы получения неразъемного соединения изделий из полимерных материалов» [18].

«Во – первых, перед ультразвуковой сварки не требуется зачистка или обезжиривание соединяемых поверхностей, так как высокочастотные колебания разрушают все масляные пленки и выводят загрязнения на поверхность сварочной ванны» [18].

«Во – вторых, она не требует использование различных дополнительных материалов, таких как клей или присадочная проволока. Потому что нагрев происходит, за счет активации внутренних источников энергии» [18].

«В – третьих, после ультразвуковой сварки получается неразъемное монолитное соединение, свойства которого ничем не отличаются от основного материала» [18].

«В – четвертых, при помощи ультразвуковой сварки можно соединять некоторые термопластичные материалы, неразъемная сборка которых другими методами затруднена или вовсе невозможна. Именно к таким пластикам относятся многие модифицированные инженерные полимеры, например, стеклонаполненный полиамид» [18].

К минусам ультразвуковой сварки зачастую специалисты предписывают сложность оборудования и сложность соединения длинномерных конструкций.

1.4 Описание физических основ ультразвуковой сварки

Сущность процесса ультразвуковой сварки сосредоточена на подводе к соединяемым деталям колебаний с частотой выше 16 кГц. Обычно стандартное оборудование для ультразвуковой сварки работает на частотах: 16, 20, 36, 40 кГц.

За счет высокочастотных колебаний в материале создается эффект межатомарного трения, которое и разогревает полимер. После прекращения

подвода ультразвука, происходит полимеризация расплава и формирования сварного шва.

Такого рода колебания можно охарактеризовать упругими деформациями самого материала. В литературе их принято называть упругими колебаниями. В зависимости от частоты колебаний упругие колебания могут приобретать различную форму, которая называется гармоника. Для сварки предпочтительна продольная гармоника, когда вся колебательная система «дышит» продольно, равномерно изменяя свою степень деформации по всем сечениям.

Продольная форма колебаний является наиболее распространенной и называется гармоническими колебаниями, которые описываются следующей зависимостью:

$$A = A_M \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где «А – деформация в среде в момент времени t;

A_M – максимальное значение деформации;

ω – круговая частота колебаний;

φ – начальный угол сдвига» [18].

Другим важным параметром ультразвуковой сварки является скорость ультразвуковой волны в материале, которая в свою очередь определяется модулем упругости первого рода материала, его плотностью и температуры окружающей среды и материала. Для полимерных материалов скорость распространения ультразвуковой волны варьируется от двух до шести тысяч метров в секунду.

Именно ультразвуковая волна является носителем мощности, которая способствует активации межатомарного трения.

Мощность звуковой волны характеризуется ее потоком акустической энергии, который можно представить зависимостью 2:

$$\Phi = \int_S J dS \cos \beta, \quad (2)$$

где « β – угол между нормалью к площади dS и направлением распространения волны;

J – интенсивность плоской продольной звуковой волны» [18].

А интенсивность звуковой волны определяется из уравнения:

$$J = k(Af)^2 \rho c, \quad (3)$$

где « A – амплитуда колебаний;

f – частота колебаний;

ρ – плотность среды;

k – коэффициент пропорциональности;

c – скорость звука в среде» [18].

Для создания упругих гармонических высокочастотных колебаний используются специальные комплексы, которые состоят из трех основных частей:

- ультразвуковой генератор;
- соединительный кабель;
- колебательная система.

Ультразвуковой генератор предназначен для осуществления контроля параметров режима ультразвуковой сварки и анализа входных и выходных электрических факторов. Но главная его задача – забрать из питающей сети ток, за счет дросселя и повышающего трансформатора осуществить поднятия частоты тока с 50 герц до ультразвуковых колебаний. После чего сгенерированный высокочастотный ток отправляется по соединительному кабелю к ультразвуковой колебательной системе.

Одной из важнейших функций ультразвукового генератора является постоянное сканирование ультразвуковой колебательной системы и поддержание ее в резонансном состоянии. Так как собственные значения резонансной частоты колебательной системы могут изменяться в процессе ее работы из-за нагрева ее элементов, повышения нагрузки или сварочного усилия.

Схема ультразвуковых комплексов представлена на рисунке 10:

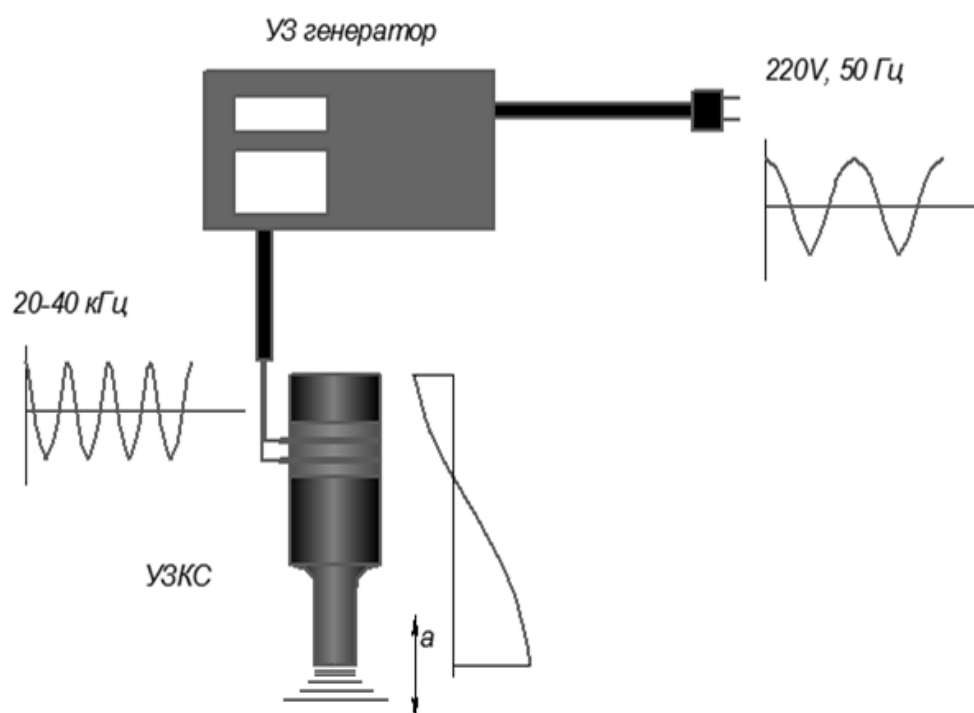


Рисунок 10 - Структурная схема комплексов для ультразвуковой сварки

В зависимости от типа преобразователя ультразвука колебательные системы подразделяются на:

- пьезокерамические;
- магнитострикционные.

Ток ультразвуковой частоты, который сформировал «генератор», поступает именно на преобразователь ультразвука, который трансформирует

электрические колебания тока в собственные механические колебания за счет» [18] магнитострикции или пьезоэффекта.

Преобразователи имеют незначительную собственную амплитуду колебаний, которая в свою очередь оказывает важное влияние на формирование сварного шва. Поэтому значение амплитуды требуется увеличить за счет усилителя или формы волновода, которые плотно стягиваются с преобразователем.

Увеличение амплитуды колебаний происходит за счет разницы контактных площадей сечений. Усилитель или волновод как рупор фокусируют ультразвуковые волны с большого до малого сечения, тем самым повышая их амплитуду. В зависимости от формы и площадей сечений высчитывается коэффициент усиления амплитуды.

Затем колебания передаются либо от усилителя на волновод и к свариваемым деталям, либо сразу в зону сварки, в зависимости от типа ультразвуковой колебательной системы.

На рисунке 11 вы можете увидеть схематичный эскиз колебательной системы с магнитостриктором:

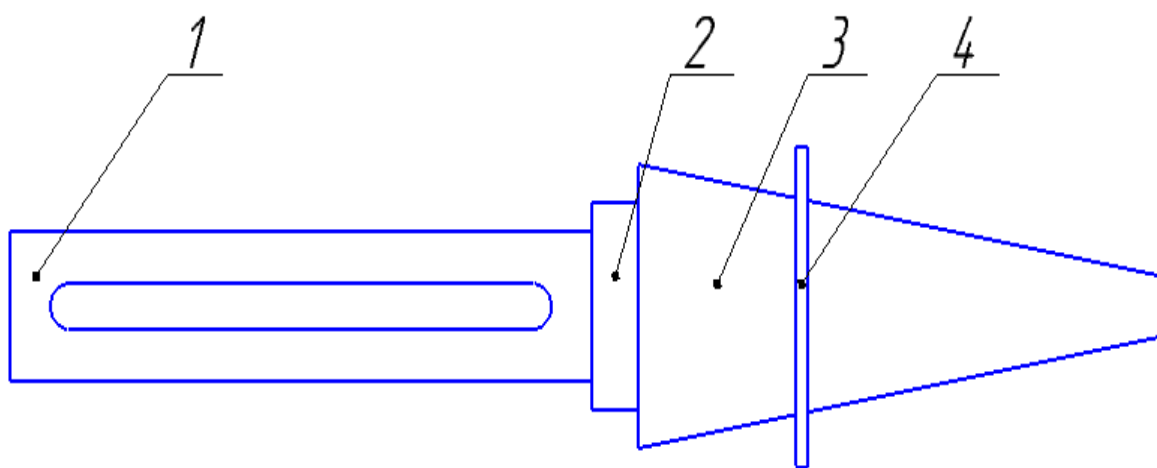


Рисунок 11 – Магнитострикционная колебательная система

В состав данной колебательной системы входит: непосредственно сам магнитоотриктор 1, переходник 2 и волновод 3. Вся колебательная система крепится за нулевой бурт 4 в корпусе ручного устройства или в гильзе автоматизированной машины.

В свою очередь магнитоотриктор, который является преобразователем ультразвука, это пакет пластин толщиной 0.2 миллиметра из сплава железа и кобальта с добавлением ванадия – К49Ф2. В общем пользовании данный сплав известен как пермендюр.

При прохождении через пакет переменных электромагнитных волн пермендюр начинает менять свои геометрические размеры, что отражается в появлении продольной деформации пакета и рождению ультразвуковых механических колебаний на определенной частоте, которая зависит от геометрии самого преобразователя.

«Пластины припаиваются к переходнику из стали 45 при помощи серебряного припоя ПОС 40 и скрепляются друг с другом эмалью горячей сушки. Переменное электромагнитное поле создается за счет прохождения высокочастотного тока через катушки на стержнях магнитоотриктора» [18].

На рисунке 12 представлено фото магнитоотриктора и волновода в сборе.

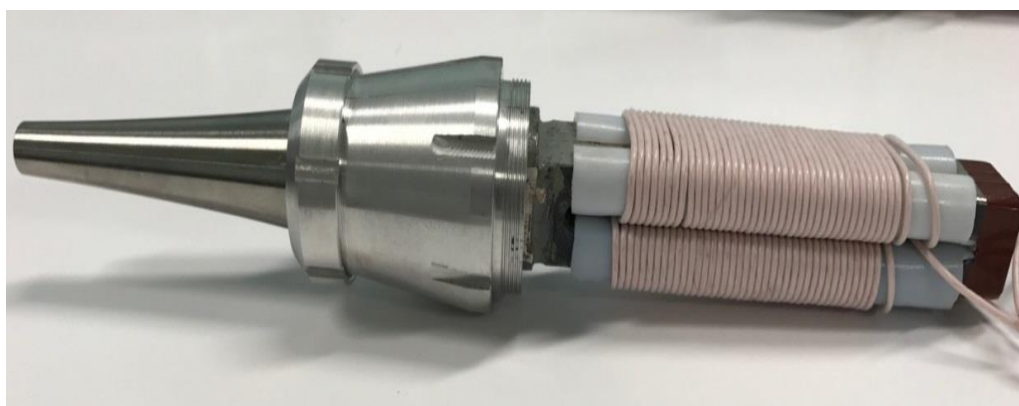


Рисунок 12 – Ультразвуковая колебательная система в сборе

Магнитострикционные колебательные системы могут долго работать в непрерывном режиме и при высоких нагрузках по мощности и току, однако имеют низкий коэффициент полезного действия, порядка 50 процентов.

Более высоким КПД обладают пьезокерамические колебательные системы, но они не способны работать длительное время при высоких нагрузках. На рисунке 13 мы можем увидеть схематичный эскиз пьезокерамической колебательной системы:

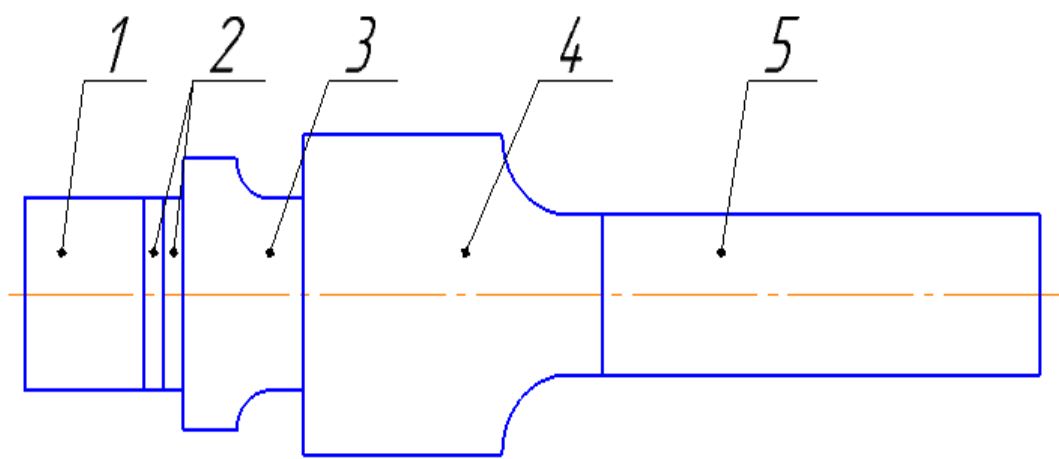


Рисунок 13 – Пьезокерамическая колебательная система

Все пьезокерамические колебательные системы состоят из отражателя 1, который фиксирует пьезокерамические шайбы 2 (преобразователь ультразвука) и отражает от себя ультразвуковые колебания по направлению к зоне сварки.

Пьезокерамические шайбы представляют собой диски из спрессованного порошка в серебряной защитной пленке, между которыми находятся медные электроды. Именно на них и приходит высокочастотный сигнал от генератора. Сегодня на рынке существует более 250 видов пьезошайб различного состава и размеров.

Пьезокерамические шайбы стягиваются болтом через отражатель с переходником 3, который прикручивается к усилителю 4, на котором закреплен при помощи резьбы волновод 5.

1.5 Обзор мировых технических решений ультразвуковой сварки полимерных материалов

Сегодня в мире существует ряд отечественных и зарубежных компаний по разработке и выпуску оборудования для ультразвуковой сварки полимерных материалов различной степени сложности и автоматизации.

«К передовым европейским компаниям можно отнести «Herrmann Ultrasonic», «Dukane», «Branson» и «Rinco Ultrasonic» [18].

«В России можно выделить следующие компании «Ультрарезонанс», «АлександраПлюс» и «U-Sonic». Данные компании, как и зарубежные, занимаются не только созданием ультразвукового оборудования для сварки, но и оборудования, связанного с ультразвуковыми технологиями» [18].

Компания «Herrmann Ultrasonic» сосредоточена на разработках многоточечных автоматизированных сварочных машинах, пример одной из них изображен на рисунке 14.

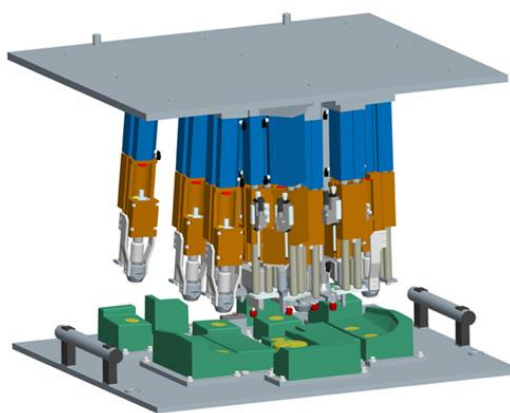


Рисунок 14 – Многоточечный комплекс фирмы «Herrmann Ultrasonic»

На рисунке 15 можно увидеть другие варианты подобных машин, разработанных «Herrmann Ultrasonic».



а



б



в

а – сварка чехла КПП, б – сварка панели приборов, в – сварка бампера

Рисунок 15 – Комплексы для ультразвуковой сварки «Herrmann Ultrasonic»

Как видно из рисунков все ультразвуковые автоматизированные многоточечные комплексы для сварки полимерных и нетканых материалов оснащены несколькими колебательными системами. Иногда их численность может достигать до 50 штук. Все колебательные системы крепятся над свариваемыми деталями при помощи пневмоцилиндров. В нижней части комплекса установлен ложемент или стапель с прижимами, в которые закладываются каркасные детали и элементы, которые требуется приварить к ним.

Стоит отметить, что процесс ультразвуковой сварки осуществлять не одновременно, а по группам точек, что позволяет повысить производительность процесса ультразвуковой сварки [19].

Немецкая компания Dukane занимается выпуском оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных полимерных материалов различной степени автоматизации.

На рисунке 16 показан пример малогабаритного ручного ультразвукового устройства, разработанного компанией Dukane.



Рисунок 16 – Ручной комплекс «Dukane»

Такого рода аппараты являются маломощными и предназначены для штучного или мелкосерийного производства изделий из полимерных и нетканых материалов.

Для более серьезных норм выпуска компания Dukane предлагает полуавтоматические станки прессового типа. Один из которых представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 - Ультразвуковой станок фирмы «Dukane»

В данном стенде ультразвуковая колебательная система смонтирована на каретку, которая за счет пневматического цилиндра способна к вертикальному перемещению.

Сам пневматический цилиндр жестко закреплен на направляющих стенда, которые смонтированы на нижней плите.

Также у данной модели присутствует монитор – контроллер, благодаря которому можно осуществлять регулировку мощности, времени сварки, сварочного усилия, мощности и других параметров ультразвуковой сварки.

На рисунке 18 продемонстрированы многоточечные сварочные машины компании Dukane [20].



Рисунок 19 – Сварочные машины компании «Dukane»

Во время пандемии вырос спрос на одноразовые медицинские маски. В связи с этим многие производители оборудования для ультразвуковой сварки начали заниматься разработкой и выпуском, так называемых ультразвуковых швейных машинок. Которые позволяли быстро и легко производить сотни

ватномарлевых повязок в час. Одна из таких машинок представлена на рисунке 20.



Рисунок 20 – Ультразвуковая швейная машинка

1.6 Анализ исследований в области ультразвуковой сварки полипропилена и его сополимеров

В ходе написания курсовой работы по дисциплине «Основы научных исследований» был проведен литературный поиск научных работ на тему ультразвуковой сварки чистого полипропилена и его модифицированных сополимеров. Для детального анализа в выпускной квалификационной работе было выбрано три научных публикации.

Первая из которых: «Исследование воздействия энергетических полей на полиэтилен» [9].

Авторы: Мозговой И.В., Нелин А.Г., Давидан Г.М., Мозговой Е.И., Мозговой О.И.

«На рисунках 21 и 22 представлены зависимости прочности и относительного удлинения образцов из полиэтилена от способа сварки и длительности старения. Каждая точка на кривых является среднеарифметическим значением четырех измерений» [9].

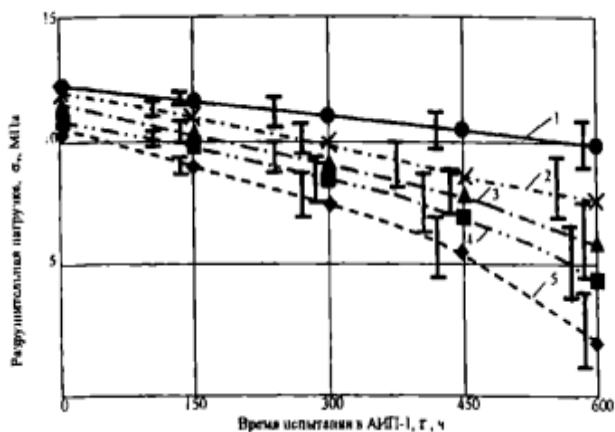


Рисунок 21 – Зависимости прочности образцов от способа сварки и времени старения: 1 – исходный полиэтилен, 2 – ультразвуковая сварка, 3 – экструзионная сварка, 4 – сварка нагретым элементом, 5 – сварка газом

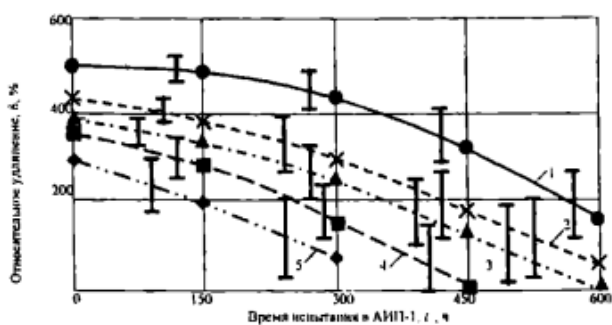


Рисунок 22 – Зависимости относительного удлинения образцов от способа сварки и времени старения: 1 – исходный полиэтилен, 2 – ультразвуковая сварка, 3 – экструзионная сварка, 4 – сварка нагретым элементом, 5 – сварка газом

«Исходный материал, не подвергавшийся тепловым нагрузкам, за 600 часов старения снизил прочность только на 16 – 17%. Материал шва после ультразвуковой сварки снизил прочность на 28 – 33%, после экструзионной сварки на 40 – 50%, после сварки нагретым элементом на 40 – 67%, после сварки газом на 60 – 84%» [9].

Выводы:

«Ультразвуковая сварка позволяет получать соединения, прочность которых достигает 90 – 100% от прочности основного материала. Однако наблюдается существенная нестабильность прочности, что прослеживается даже на одном изделии при вырезании образцов для испытаний шириной 10 мм. Прочность при этом различных участков шва колеблется в пределах от 50 до 100 % прочности основного материала. Это объясняется сложными волновыми процессами при распространении ультразвука в свариваемых пластмассовых деталях» [9].

Вторая статья «Factors affecting the joint strength of ultrasonically welded polypropylene composites» [22].

Авторы: Shin-Jung Liu, I-Ta Chang.

Результаты:

В анализе Тагучи отношение сигнал/шум (S/N) представляет собой статистическую величину, представляющую мощность ответного сигнала, деленную на мощность изменения сигнала из-за шума. Отношение сигнал/шум выводится из функции потерь и принимает различные формы в зависимости от целей оптимизации. Максимизация отношения сигнал/шум приводит к минимизации любого свойства, чувствительного к шуму. Поскольку целью данного исследования является максимизация прочности сварного шва, для анализа можно использовать уравнение, описывающее характеристику «чем больше, тем лучше». Основываясь на этом, оптимальные уровни факторов, которые могли бы статистически привести к максимальной прочности для сваренного первичного полипропилена, были

предсказаны как A3/B3/C1/D1/E1/F3. Эти оптимизированные уровни коэффициентов представляли собой время сварки 0.33 секунды, давление сварки 3.5 бара, время выдержки 0.15 секунды, давление выдержки 2.5 бара, треугольный ЭК и амплитуду колебаний 40 микрометров. Оптимальные уровни факторов для максимальной прочности соединения 10 и 30 % наполненного стекловолокном полипропилена также были определены как A3/B1/C1/DZ/E1/F3 и A3/B1/C2/D1/E2/F3 соответственно, как указано на рисунках 23 и 24.

Material	Optimum Levels						Joint Strength (Mpa)	Mean Estimation (dB)	Confirmation Experiment (dB)
	A	B	C	D	E	F			
PP	3	3	1	1	1	3	13.77	25.01	22.78
PP+ 10% G.F.	3	1	1	2	1	3	13.29	23.66	22.47
PP+ 30% G.F.	3	1	2	1	2	3	12.78	22.89	22.13

Рисунок 23 – Табулирование средней оценки и подтверждающий эксперимент

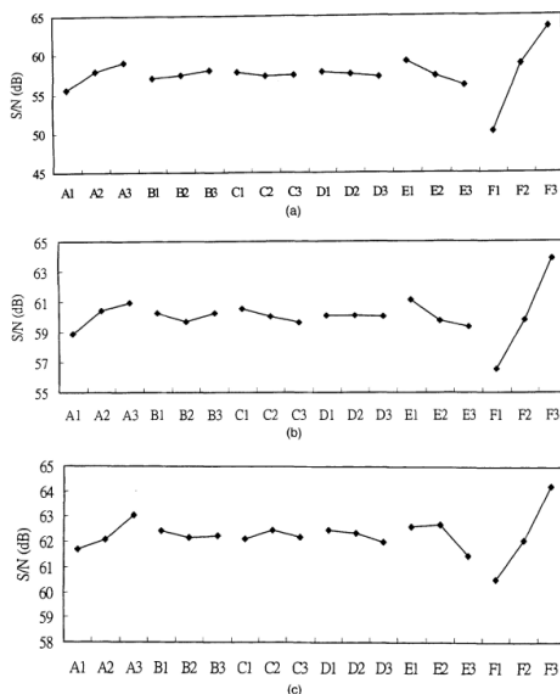


Рисунок 24 – Изменение коэффициента S/N

Выводы:

Схема эксперимента, основанная на методе Тагучи, может быть успешно использована для поиска оптимальных условий повышения прочности соединения термопластичных композитов, сваренных ультразвуком.

Экспериментальные результаты показывают, что наиболее важными факторами являются время сварки, геометрия энергетического концентратора и амплитуда колебаний.

Существенно улучшена прочность соединения полипропиленовых композитов при оптимальных условиях обработки. Результаты подтверждающего эксперимента при оптимальных условиях обработки показали, что сварной композит действительно демонстрирует самую высокую прочность соединения.

Полимеры, наполненные стекловолокном, требуют меньше энергии для успешной сварки, чем ненаполненные полимеры.

Установлено, что прочность соединений сварных деталей увеличивается с увеличением содержания волокон в композитах [22].

Третья статья «Ultrasonically welded and non-welded polypropylene and PC-ABS blend thermal analysis» [24].

Авторы: T. Chinnadurai, N. Prabakaran, N. Mohan Raj, M. Karthigai Pandian.

Результаты:

После процесса сварки полипропилена пиковые температуры смещаются от 167 до 162°C из-за изменения размера и формы частиц. Температура T_g снижается примерно на 2–3 % на свариваемой поверхности, что приводит к изменению кристаллической природы материала и переориентации волокон мономеров.

Экспериментальные данные термического анализа полипропиленовых образцов после ультразвуковой сварки по результатам сводного анализа

итогах исследований представлены в виде графических зависимостей на рисунке 25.

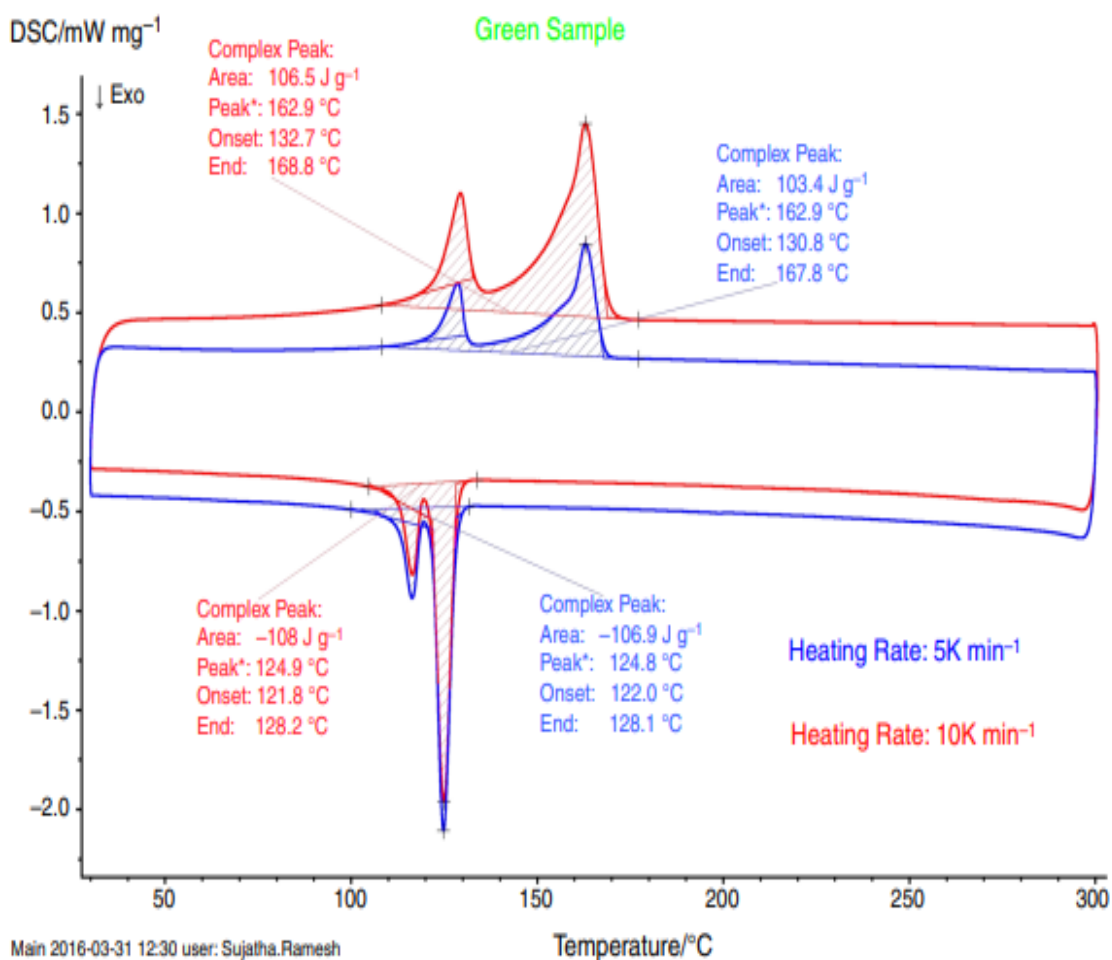


Рисунок 25 – Термический анализ полипропилена после ультразвуковой сварки

Здесь температура стеклования указывает точную температуру, при которой движения цепей значительно увеличиваются; эти изменения могут быть связаны с различными факторами, такими как длина шва, степень сплавления и наличие других полимеров. Кристаллическая природа полипропилена увеличивает время вибрации, что требует больших затрат энергии для расплавления кристаллической фазы.

Длина полимерной цепи описывает толщину кристалла, которая в дальнейшем зависит от условий кристаллизации. Этот процесс оказывает существенное влияние на аморфную фазу. Структура с более высокой степенью кристаллизации требует большего времени сварки, а также требует более высокой энергии для плавления кристаллической фазы. Анализ зоны сварки показывает, что различия между значениями температуры нагрева и охлаждения 5 и 10 К мин⁻¹ одинаковы [24].

2 Разработка оборудования для ручной ультразвуковой сварки вставки панели приборов

2.1 Расчет пакета для магнитостриктора

Как было сказано выше магнитостриктор представляет собой пакет из пластин толщиной 0.2 миллиметра, изготовленных из пермендюра, которой в своем составе имеет до 50 процентов железа и кобальта и до 2 процентов ванадия [4].

Собственная резонансная частота магнитострикционного пакета и его номинальная мощность зависят от геометрических параметров собираемого пакета. На рисунке 26, показана расчетная схема магнитостриктора.

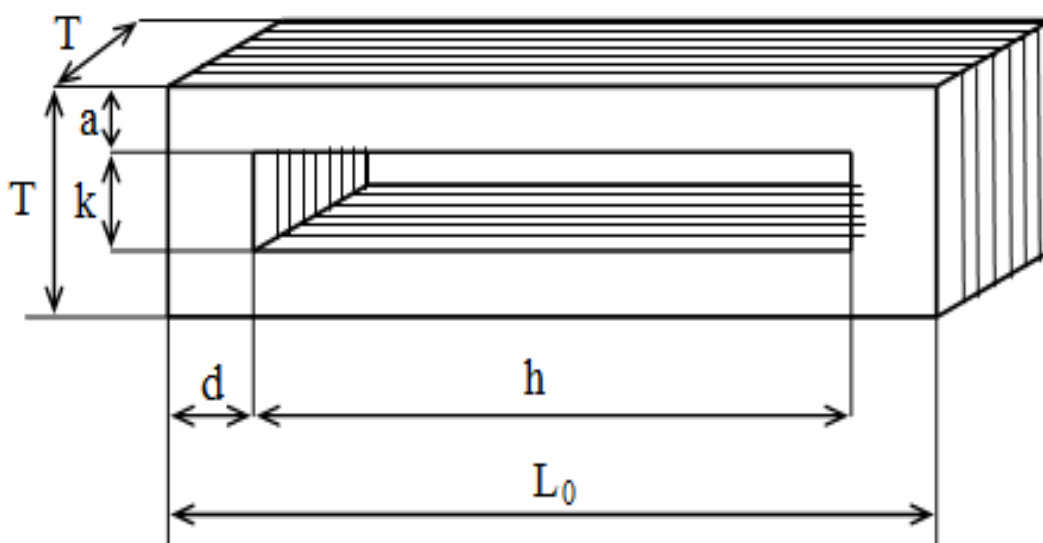


Рисунок 26 – Расчетная схема магнитостриктора

Также для проведения расчета необходимо знать некоторые основные параметры теплофизики и акустики, требуемые для разогрева свариваемого полимерного материала.

Для снижения трудозатрат на расчеты магнитострикционного пакета, их выполняют в различных САП программах, таких как Mathcad.

В таблице 2 представлены параметры для проведения расчета магнитострикционного пакета, способного ввести полипропилен марки Armlen PP MF20-15IM в жидкотекучие состояние.

Таблица 2 – Исходные данные для расчёта

Параметры	Значения
Мощность, P	800 Вт
Удельная мощность, P ₀	40 Вт/см ²
Скорость звука в полипропилене, C _c	4 623 м/с
Резонансная частота, f	20 000 Гц
Напряженность возбуждения, H _{воз}	2 800 А/м

«Начнет расчет с определения ширины и высоты пакета» [18]:

$$T = \sqrt{\frac{P}{P_0}} = \sqrt{\frac{800}{40}} = 2 \text{ см} = 20 \text{ мм}$$

«Найдем ширину стержня» [18]:

$$a = \frac{T}{3} = \frac{20}{3} = 6.67 \text{ мм} = 7 \text{ мм}$$

«Примем высоту накладки равной» [18]:

$$d = a + 0.5 = 7 + 0.5 = 7.5 \text{ мм}$$

«Дальше определим высоту окна» [18]:

$$h = \frac{c}{\pi f} \operatorname{arctg} \left(\frac{2a}{T \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi f d}{cc} \right)} \right) = \frac{4623}{3,14 \cdot 20000} \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot 7}{20 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20000 \cdot 7,5}{4623} \right)} \right) = 87,693 = 88 \text{ мм}$$

«Рассчитаем ширину окна» [18]:

$$k = T - 2a = 20 - 2 \cdot 7 = 6 \text{ мм}$$

«Осталось определить длину пакета» [18]:

$$L_0 = h + 2d = 88 + 2 \cdot 7,5 = 103 \text{ мм}$$

Для создания вокруг магнитоотрицательного пакета переменного электромагнитного поля на его стержни необходимо нанести обмотки из МГТФ провода сечением 0.75 миллиметров.

После расчета геометрических параметров пакета можно приступить к поиску требуемого количества витков по формуле 4:

$$n = \frac{\Lambda_{\text{воз}}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{воз}}}, \quad (4)$$

где $\Lambda_{\text{воз}}$ – количество ампер-витков возбуждения,
 $I_{\text{воз}}$ – переменный ток возбуждения, принимаем $I_{\text{воз}} = 6 \text{ А}$

«А количество ампер витков вычисляется по формуле 5» [18]:

$$\Lambda_{\text{воз}} = \frac{N_{\text{воз}} \cdot L_{\text{ср}}}{0,4 \cdot \pi}, \quad (5)$$

где L_{cp} – средняя длина магнитного потока поля, определяемая по формуле 6.

$$L_{cp} = 2 \left(h - k + \pi \left(\frac{k}{2} + \frac{d}{2} \right) \right) \quad (6)$$

«Используя все данные, рассчитываем количество витков» [18]:

$$L_{cp} = 2 \left(88 - 6 + 3.14 \left(\frac{6}{2} + \frac{7.5}{2} \right) \right) = 103.2 \text{ мм}$$

$$I_{воз} = \frac{2800 \cdot 103.2}{0.4 \cdot 3.14} = 730 \text{ А}$$

$$n = \frac{730}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 6} = 40.02 = 40$$

Следовательно, на каждый стержень нужно будет нанести по 40 витков провода.

2.2 Разработка волновода для сварки

Элементы вставки панели приборов соединяется путем оплавления трех пинов диаметров 8.1 миллиметра и высотой 15 миллиметров. Толщина стенки одного пина равна 2 миллиметра.

Расчет ультразвуковых волноводов можно разбить на три основных этапа.

Первый – расчет будущей геометрии волновода с учетом выбранного типа преобразователя ультразвука и формы сварной точки. К геометрическим параметрам волновода относятся длина, а также входная и выходная контактные площади сечений, которые определяются передаваемой мощностью.

После этого создается первый эскиз волновода и начинается его доработка с точки зрения технологичности, то есть прорабатываются радиуса округления, галтели, припуски и другие элементы.

На рисунке 27 как раз показан первый эскиз волновода для оплавления пинов крепления вставки панели приборов:

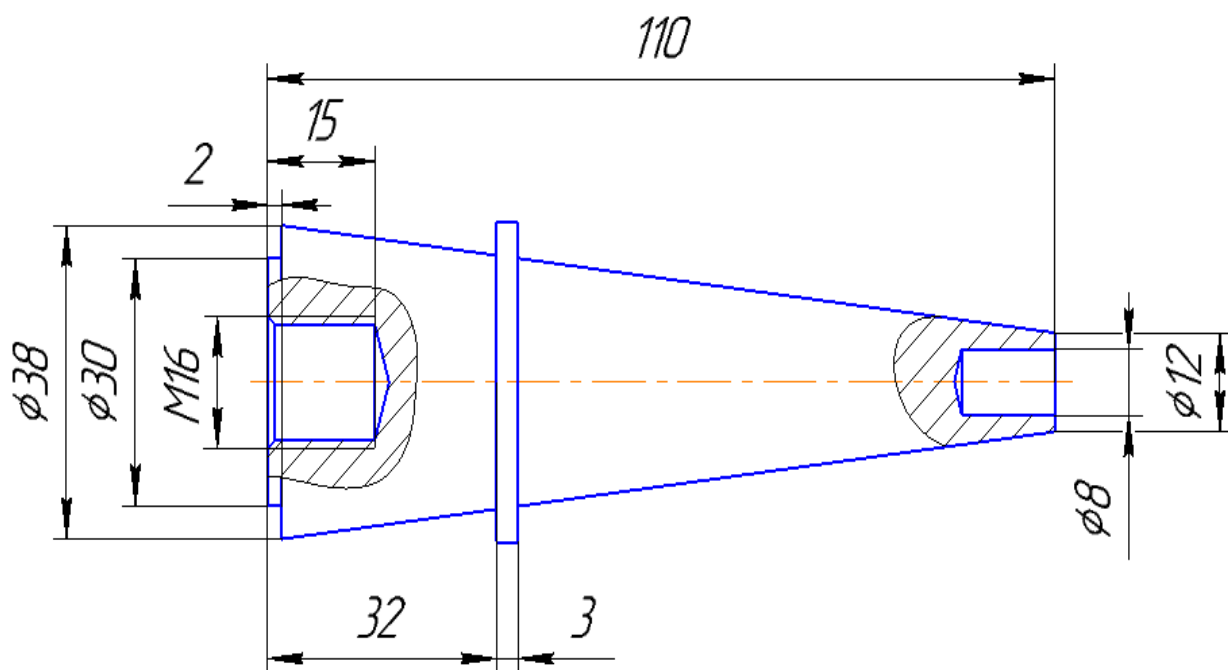


Рисунок 27 – Первый эскиз волновода

После прорисовки геометрии волновода с учетом всех технологических элементов начинается этап проверки. На основании чертежей создается модель волновода и методом конечных элементов производится ее анализ, с целью определения гармоник и мод колебаний. Требуется обеспечить продольные гармонические моды колебаний на частоте примерно 20 кГц. Если это не выполняется, то вносятся изменения в расчеты и геометрию волновода и модальный анализ проводится повторно, до тех пор, пока не будут обеспечены продольные моды колебаний.

Для упрощения в пояснительной записки представлен последний вариант расчета ультразвукового волновода для сварки вставки панели приборов легкового автомобиля.

Для начала определим площади выходного сечения магнитостриктора и входного сечения волновода.

Магнитостриктор соединяется с волноводом при помощи стального переходника, контактная площадь которого равна 505.9 мм^2 .

Примем больший диаметр волновода равный 38 мм. Переходник и волновод соединяется при помощи резьбы М16. Учитывая эти факторы контактная входная площадь волновода будет равна 933.1 мм^2 .

Для нахождения площади выходного сечения волновода воспользуемся формулой 7:

$$S_1 w_1 = S_2 w_2, \quad (7)$$

где « S_1 – контактная площадь первого материала,
 w_1 – удельное волновое сопротивление первого материала,
 S_2 – поперечная площадь второго,
 w_2 – удельное волновое сопротивление второго материала» [18].

«Удельное волновое сопротивление стали 45 = $3.9 \cdot 10^7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$.
Удельное волновое сопротивление ВТЗ-1 = $2.2 \cdot 10^7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ » [18].

Используя формулу 7, найдём выходную площадь волновода S_2 :

$$S_2 = \frac{S_1 w_1}{w_2} = \frac{505.9 \cdot 3.9}{2.2} = 896.8 \text{ мм}^2$$

Дальше требуется перевести площадь в диаметр, для этого воспользуемся формулой 8:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (8)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 896.8}{3.14}} = 11.8 \text{ мм} = 12 \text{ мм}$$

Теперь определим длину ультразвукового волновода и расположение нулевого сечения, для прорисовки бурта крепления

Длина волновода определяется по формуле 9:

$$l = \frac{nc}{2f} \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2\right)}, \quad (9)$$

где « n – целое число полуволн, приходящихся на длину, рассчитываемого элемента (примем $n=1$);

c – скорость звука, м/с (ВТЗ-1 - 5044.96 м/с);

k – коэффициент усиления концентратора ($k = \frac{D_{\text{входной}}}{D_{\text{выходной}}}$)» [18].

$$k_{\text{волновода}} = \frac{38}{12} = 3.17$$

$$l_{\text{волновода}} = \frac{5044960}{2 \cdot 20000} \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\ln 3.17}{3.14}\right)^2\right)} = 134.36 \text{ мм}$$

Расположение нулевого сечения определяется по формуле 10:

$$x_0 = \frac{l}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\pi} \ln k \right) \quad (10)$$

$$x_0 = \frac{134.36}{3,14} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{3,14} \ln 3.17 \right) = 35.69 \text{ мм}$$

2.3 Разработка ручного устройства для ультразвуковой сварки

На основании финальных расчетов и с учетом технологических требований была спроектирована ультразвуковая колебательная система, представленная на рисунке 28:

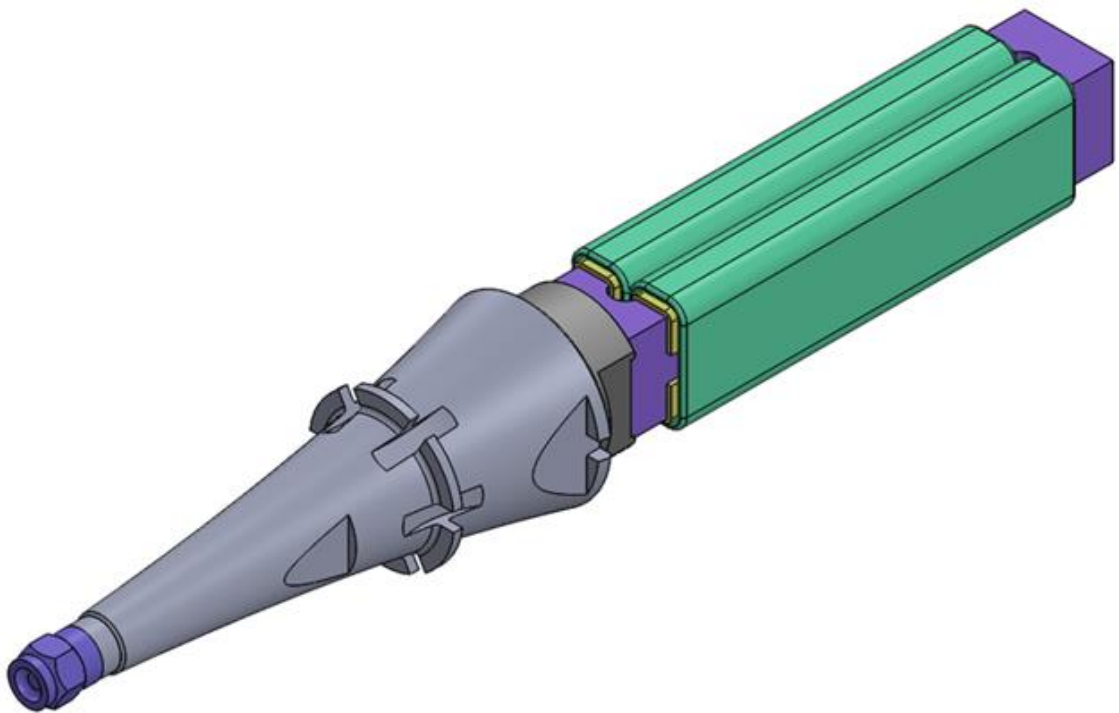


Рисунок 28 – Модель ультразвуковой колебательной системы

В проектируемом технологическом процессе предполагается использовать ручную ультразвуковую сварку для сборки верхней и нижней накладок вставки панели приборов.

Для этих целей требуется разработать конструкцию данного ручного устройства.

Исходя из больших габаритов свариваемых деталей, целесообразно использовать ручное устройство пистолетного типа.

Также необходимо обеспечить в корпусе гильзы крепление ультразвуковой колебательной системы за нулевой борт, воздушное охлаждение и скобу для балансира.

Учитывая все эти факты, было разработано ручное устройство для ультразвуковой сборки элементов вставки панели приборов, представленное на рисунке 29:

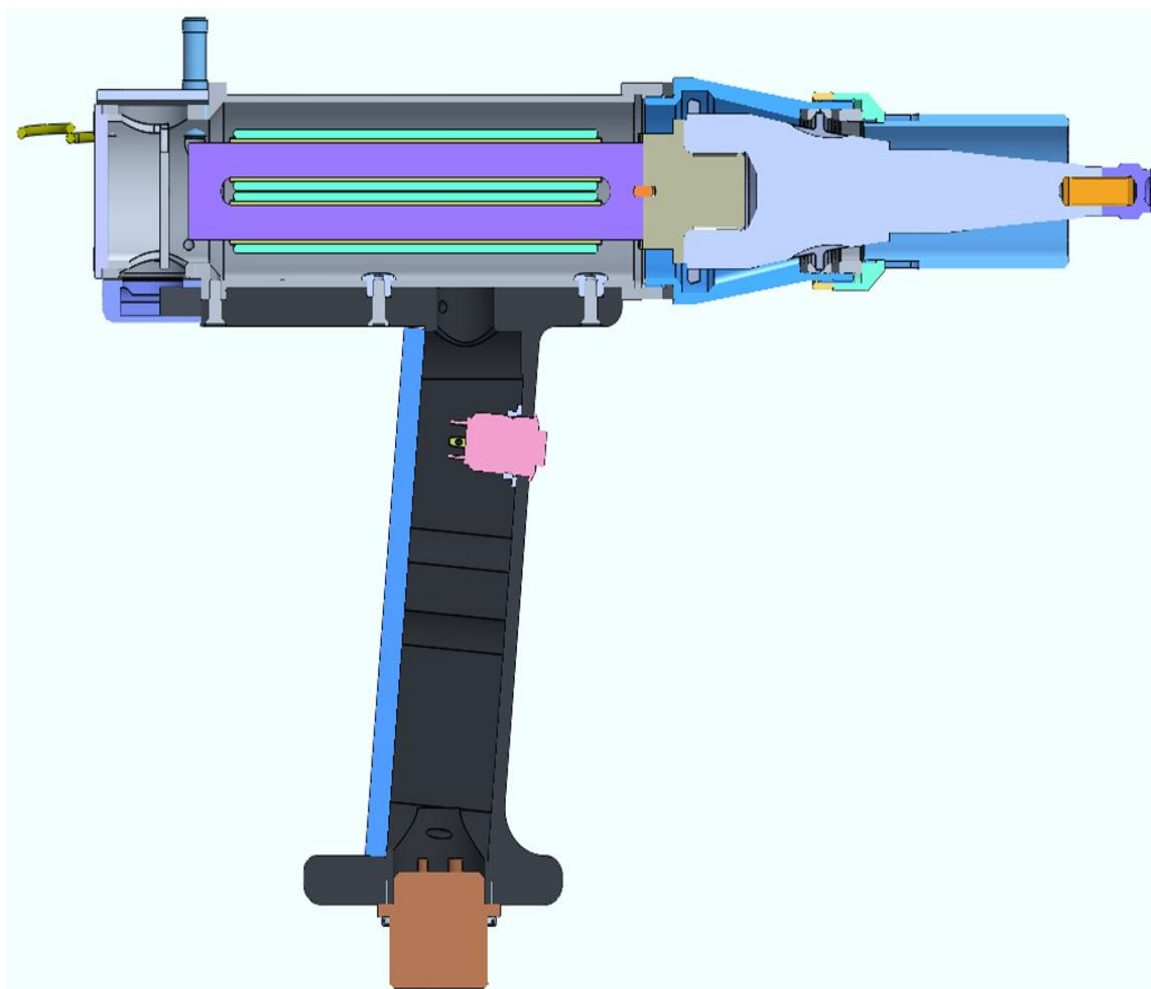


Рисунок 29 – Ручное ультразвуковое устройство в сборе

2.4 Разработка ультразвукового генератора

Группе электротехников и программистов на базе ТГУ, была дана миссия по разработке генератора для ультразвуковой сварки элементов вставки панели приборов легкового автомобиля.

Требовалось обеспечить следующие технические характеристики:

- входное напряжение – 220В;
- входная частота тока – 50 Гц;
- ток подмагничивания – 6 А;
- ток возбуждения – 12 А;
- выходная мощность – 600 Вт.

По результатам их работы был создан ультразвуковой генератор, представленный на рисунке 30:



Рисунок 30 – Ультразвуковой генератор

3 Разработка технологического процесса сборки вставки панели приборов легкового автомобиля

3.1 Расчет параметров режима ультразвуковой сварки

К основным параметрам режима ручной ультразвуковой сварки относятся:

- мощность;
- время воздействия ультразвука;
- время полимеризации материала;
- сварочное усилие.

Чтобы найти время воздействия ультразвуковых колебаний на свариваемые детали воспользуемся формулой 11:

$$t = \frac{Q \cdot V}{Q_a}, \quad (11)$$

где Q – удельная энергия,

Q_a – акустическая мощность,

V – объём расплавленного пластика.

Для расчета удельной энергии, воспользуемся формулой 12:

$$Q = 0.9 \rho c T_{пл}, \quad (12)$$

где c - удельная теплоемкость материала,

ρ – плотность,

$T_{пл}$ – температура плавления материала.

«Для Armlen PP MF20-15IM удельная теплоемкость равна 2 кДж/(кг·°С), температура плавления – 240 °С, а плотность 2.43 г/см³. Используя формулу 12, найдем удельную энергию для сварки» [18]:

$$Q = 0,9 \cdot 0.00243 \cdot 2 \cdot 240 = 1049.76 \text{ Дж/см}^3$$

Для того чтобы расплавить пин нужно вычислить его объем.

Пин представляет собой цилиндр высотой 15 мм., внешним диаметром 8 мм. и внутренним диаметром 4 мм. Следовательно, объем расплавляемой части равен:

$$V = 753.982 - 188.496 = 565.5 \text{ мм}^3 = 0.5655 \text{ см}^3$$

Акустическую мощность, требуемую для разогрева полимера, найдем по формуле 13:

$$Q_a = f \cdot \pi \cdot E \cdot \varepsilon^2 \quad (13)$$

где « E – модуль упругости материала – 10.2 МПа,
ε – амплитуда деформации – 10 мкм,
f – частота колебаний – 20 кГц» [18].

Подставляя значения в формулу 13 получим:

$$Q_a = 20000 \cdot 3.14 \cdot 10200000 \cdot 0.00001^2 = 64.056 \text{ Дж/(см}^3 \cdot \text{сек)}$$

После чего найдем время импульса по формуле 11:

$$t = \frac{1049.76 \cdot 0.5655}{64.056} = 3.4 \text{ с.}$$

Время полимеризации данного объема расплавленного полипропилена займет около 2 секунд.

Так как в работе рассматривается ручная ультразвуковая сварка, то сварочное усилие приближенно будет равным 4 – 6 Н.

3.2 Описание технологического процесса сборки вставки панели приборов легкового автомобиля

Накладки вставки панели приборов поступают на сборочно-сварочный участок в полиэтиленовых пакетах.

«Процесс ультразвуковой сборки начинается с входного контроля. Задачей данного процесса является проверить лицевую часть накладок на предмет дефектов, убедиться в отсутствии заусенцев после литья на кромках деталей. Если повреждена лицевая часть, то элемент бракуется и идёт на переплавку. Заусенцы требуется устранить при помощи канцелярского ножа» [18].

Так как наклейки хранятся в закрытых упаковках, на их поверхности могут содержаться остатки масла после литья, которые в процессе сварки могут попасть внутрь сварочной ванны и снизить прочность соединения. Для их устранения необходимо просушить пины промышленным феном марки Makita HG5012, при температуре 40°С.

После сушки, верхняя наклейка укладывается в ложемент, повторяющий ее форму. Затем в ложемент устанавливается нижняя наклейка. При помощи пневмоприжимов детали фиксируются относительно друг друга. Требуется обеспечить их плотное прилегание. Не допускать сколов накладок относительно друг друга.

Дальше оператор берет со стола ручное ультразвуковое устройство, располагает рабочий торец перпендикулярно центральному пину крепления, прикладывает усилие (4 – 6 Н) и нажимает на кнопку подачи ультразвука.

По прохождению 3.4 секунд контроллер генератора автоматически отключает подачу ультразвука. Во время сварки не допускается перемещать и наклонять волновод относительно пина.

Оператор еще 2 – 3 секунды оказывает сварочное усилие, пока не сформируется сварная точка.

После чего осуществляется сварка оставшихся двух пинов в произвольной последовательности.

Схематично цикл ультразвуковой сварки показан на рисунке 31:

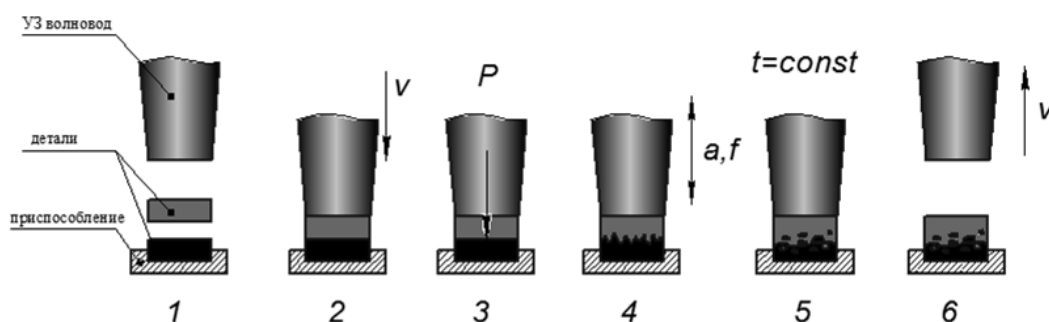


Рисунок 31 – Схема цикла ультразвуковой сварки

«После окончания сварки, необходимо произвести визуальный контроль сварных точек. Завершающим этапом ультразвуковой сборки вставки панели приборов является ее упаковка в полиэтиленовый пакет и укладка в контейнер для готовой продукции» [18].

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологические и организационно-технические характеристики ультразвуковой сварки вставки панели приборов.

В работе рассматривается технологический процесс ультразвуковой ручной сварки накладок вставки панели приборов легкового автомобиля, технологический паспорт которого представлен в таблице 3:

Таблица 3 – Технологический паспорт сборки вставки панели приборов

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособлении	Материалы, вещества
Ультразвуковая сварка элементов приборной панели легкового автомобиля	Входной контроль	Оператор ручного ультразвукового комплекса для сварки	Резак, лупа	Ветошь
	Сушка		Сборочный стенд, фен «Makita HG5012»	Перчатки
	Сборка		Сборочный стенд	Перчатки
	Сварка		Ультразвуковой ручной сварочный комплекс, сборочный стенд	Перчатки
	Выходной контроль		Резак, лупа	Перчатки
	Упаковка			Мешки из полиэтилена

4.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 4 - Идентификация профессиональных рисков

«Производственно-технологическая и или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ» [7, 18]	«Опасный и или вредный производственный фактор» [7, 18]	«Источник опасного и или вредного производственного фактора» [7, 18]
Входной контроль	Риск порезов	Канцелярский нож
Сушка	Повышенная температура рабочей зоны	Промышленный фен
Сборка	Статические физические перегрузки; монотонность труда	Стапель
Сварка	Повышенный уровень ультразвука	Комплекс для ручной ультразвуковой сварки
Выходной контроль	Риск порезов	Канцелярский нож
Упаковка	Статические физические перегрузки; монотонность труда	Стапель

4.3 Методы и 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 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» [18].

Таблица 5 - Технологические и организационные мероприятия по снижению профессиональных рисков

«Опасный и / или вредный производственный фактор» [7, 18]	«Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора» [7, 18]	«Средства индивидуальной защиты работника» [7, 18]
Повышенная температура рабочей зоны		«1. Две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные; 2. Противошумы по ГОСТ Р 12.4.213-99» [18].
Повышенный уровень ультразвука	«Проведение: медосмотров, физиопрофилактических процедур (тепловые воздушные с микромассажем и тепловые гидропроцедуры для рук, массаж верхних конечностей и др.), рефлексопрофилактики, гимнастических упражнений, психофизических разгрузки» [18].	
Статические физические перегрузки	«1.Конструкция рабочего места должна соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим	
Монотонность труда	требованиям, а также характеру работы; 2.Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног» [18].	

4.4 Обеспечение пожарной безопасности

«Результаты идентификации класса возможного пожара, возникающих при этом опасных факторов пожара и их сопутствующих проявлений при использовании технологии и установки для ультразвуковой сварки приведены в таблице 6» [18].

Таблица 6 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок ультразвуковой сварки вставки панели приборов	Комплекс для ручной ультразвуковой сварки	А	1) тепловой поток; 2) повышенная температура окружающей среды; 3) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	«Термохимические воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей» [7, 18].

Учитывая данные таблице 6, необходимо предусмотреть средства для обеспечения пожарной безопасности, которые сформулирован в таблице 7:

Таблица 7 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
«Переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-1, ОП-2, покрывала для изоляции очага возгорания» [7, 18].	«Пожарные автомобили (основные и специальные)» [7, 18].	«Переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-2, пожарный инвентарь» [7, 18].	«Извещатели пожарные тепловые ИП 101-8-А1 ГОСТ Р 53325-2012» [7, 18].	«Подставка напольная для ОП-2, (универсальная), кронштейн (пластик) для ОП-1 и ОП-2, кронштейн ТГ-2 транспортный с металлической защелкой для ОП-2» [7, 18].	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, средства индивидуальной защиты пожарных.	«Топор, лом, ведра» [7, 18].	«Извещатели :ручной ИП-П, тепловой ИП-105, дымовой ИПД-1, пламени ИП» [7, 18].

Таблица 8 - Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

«Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта» [7]	«Наименование видов, реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий» [7]	«Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты» [7]
<p>Процесс ультразвуковой сварки элементов вставки панели приборов. Комплекс для ручной ультразвуковой сварки</p>	<p>Защита технологических процессов установками пожаротушения; применение пожарной сигнализации и систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; обучение персонала способам ликвидации аварий</p>	<p>Требования по ликвидации условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания веществ, материалов, изделий и конструкций; Требования по периодической очистке территории, на которой располагается объект, помещений, коммуникаций, аппаратуры от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т. п.; Требования по удалению пожароопасных отходов производства; Требования по применению средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники; Требования по применению автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения; Требования по организации своевременного оповещения и эвакуации людей; Организационно-технические мероприятия должны включать: организацию пожарной охраны, организацию ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с законодательством</p>

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Воздействия проектируемого технического объекта на окружающую среду продемонстрированы в таблице 9.

Таблица 9 - Идентификация экологических факторов технического объекта

«Наименование технического объекта, технологического процесса» [7, 18].	«Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.» [7, 18].	«Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)» [7, 18].	«Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)» [7, 18].	«Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)» [7, 18].
«Ультразвуковая сварка элементов вставки панели приборов	Цикл ультразвуковой сварки. Ультразвуковой генератор. Ультразвуковая колебательная система	Нет	Нет	Нет

4.6 Заключение по разделу безопасность и экологичность технического объекта

«В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» проведена идентификация профессиональных рисков по ручной

ультразвуковой сварки элементов вставки панели приборов легкового автомобиля. В качестве опасных и вредных факторов обнаружены: повышенный уровень ультразвука, статические физические перегрузки, монотонность труда» [18].

«Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков; подобраны средства индивидуальной защиты» [18].

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

5 Экономическая эффективность работы

5.1 Калькуляция себестоимости ультразвуковой сварки

В работе разработан новый технологический процесс по изготовлению вставки панели приборов с помощью ручной ультразвуковой сварки.

В разделе по экономической эффективности предлагается провести сравнение ручной ультразвуковой сварки и автоматизированной линии, так как при дальнейшем наращивании объемов производства, возможно, понадобится внедрение более производительного оборудования.

В таблице 10 приведены примерные данные по времени, которое тратится на операцию при разных уровнях автоматизации.

Таблица 10 – Сравнение трудоемкости технологических процессов

Операция	Технологический процесс	
	Ручная	Автоматизированная
Входной контроль	1 мин.	
Сушка	1 мин.	
Сборка	0.5 мин.	
Сварка	0.6 мин.	0.3 мин.
Выходной контроль	2 мин.	
Упаковка	1 мин.	
	$t_{шт} = 6.1$ мин.	$t_{шт} = 5.8$ мин.

Перейдем к расчету себестоимости.

Затраты на материал одинаковы, ЗМ= 600 рублей.

Затраты на электроэнергию найдем по формуле 14:

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot C_{э-э} \cdot П_{св.м} , \quad (14)$$

где $P_{об}$ – мощность оборудования (0.6 кВт),

t_o – основное время работы ультразвуковых комплексов (ручной – 0.08 ч, автоматизированный – 0.04 ч),

η – КПД оборудования (0.5),

$\Pi_{э-э}$ – стоимость 1 КВтч (0.9 руб.),

$\Pi_{св.т}$ – количество сварных точек (ручной – 3 шт., автоматизированный – 1 шт., так как 3 за раз).

$$З_{э-э} = \frac{0.6 \cdot 0.08}{0.5 \cdot 60} \cdot 0.9 \cdot 3 = 0.00432 \text{ руб.} \quad З_{э-э} = \frac{0.6 \cdot 0.04}{0.5 \cdot 60} \cdot 0.9 \cdot 1 = 0.00072 \text{ руб.}$$

Определим затраты на содержание и эксплуатацию ультразвукового оборудования по формуле 15:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} + P_{пр}, \quad (15)$$

где $A_{об}$ – амортизационные отчисления, формула 16,

$P_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт, формула 17,

$P_{пр}$ – затраты на текущий ремонт, формула 18.

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot Na_{об} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100}, \quad (16)$$

где $\Pi_{об}$ – цена оборудования (ручной – 300 000 руб., автоматизированный – 1 000 000 руб.),

$Na_{об}$ – норма амортизационных отчислений (18%),

$\Phi_{эф}$ – фонд времени работы оборудования, формула 19.

$$P_{m.p} = \frac{C_{об} \cdot H_{m.p} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100}, \quad (17)$$

где $H_{m.p}$ – норма отчислений на текущий ремонт (35%),
 k_3 – коэффициент загрузки оборудования, формула 20.

$$P_{np} = \frac{C_{np} \cdot H_{np} \cdot k_3}{N_{np} \cdot T_{np}}, \quad (18)$$

где C_{np} – цена оснастки (67 500руб.),
 H_{np} – норма амортизационных отчислений (0.12),
 N_{np} – годовая норма выпуска вставок (2 000 штук),
 T_{np} – срок службы оснастки (5 лет)

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{np}) \cdot T_{см} \cdot S \cdot (1 - k_{p.n}), \quad (19)$$

где D_k – количество календарных дней в году (365),
 $D_{вых}$ – количество выходных дней в году (104),
 D_{np} – количество праздничных дней в году (14),
 $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены (8 часов),
 S – количество рабочих смен (1),
 $k_{p.n}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0.06).

$$\Phi_{эф} = (365 - 104 - 14) \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0.06) = 1857.4 \text{ часа}$$

$$k_3 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}}, \quad (20)$$

где $n_{об.расчетн}$ - расчетное количество оборудования, формула (21),

$n_{об.прин}$ - принятое количество оборудования.

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60} \quad (21)$$

$$n_{об.расчетн} = \frac{2000 \cdot 6.1}{1857.4 \cdot 60} = 0.11$$

$$n_{об.расчетн} = \frac{2000 \cdot 5.8}{1857.4 \cdot 60} = 0.1$$

«Округляем значения расчетного количества оборудования до большого целого числа, это и будет принятое количество оборудования. Для ручного и автоматизированного вариантов = 1» [18].

$$k_3 = \frac{0.11}{1} = 0.11$$

$$k_3 = \frac{0.1}{1} = 0.1$$

$$A_{об.} = \frac{300000 \cdot 18 \cdot 6.1}{1857.4 \cdot 60 \cdot 100} = 2.96$$

$$A_{об.} = \frac{1000000 \cdot 18 \cdot 5.8}{1857.4 \cdot 60 \cdot 100} = 9.37$$

$$P_{м.р} = \frac{300000 \cdot 35 \cdot 0.11}{1857.4 \cdot 100} = 6.2$$

$$P_{м.р} = \frac{1000000 \cdot 35 \cdot 0.1}{1857.4 \cdot 100} = 18.8$$

$$P_{пр} = \frac{67500 \cdot 0.12 \cdot 0.11}{2000 \cdot 5} = 0.09$$

$$P_{пр} = \frac{67500 \cdot 0.12 \cdot 0.1}{2000 \cdot 5} = 0.09$$

$$З_{об} = 2.96 + 6.2 + 0.09 = 9.25 \text{ руб.}$$

$$З_{об} = 9.37 + 18.8 + 0.09 = 28.26 \text{ руб.}$$

«Найдем затраты на производственные площади по формуле 22» [18]:

$$Z_{\text{площ}} = \frac{C_{\text{площ}} \cdot S_{\text{площ}} \cdot Ha_{\text{площ}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60}, \quad (22)$$

где $C_{\text{площ}}$ – цена 1 м² производственной площади (1000 руб.),

$Ha_{\text{площ}}$ – норма амортизационных отчислений на здания (2%),

$S_{\text{площ}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием (ручной - 5 м², автоматизированный - 7 м²).

$$Z_{\text{площ}} = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 6.1}{1857.4 \cdot 100 \cdot 60} = 0.005 \quad Z_{\text{площ}} = \frac{1000 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 6.1}{1857.4 \cdot 100 \cdot 60} = 0.007$$

Найдем фонд заработной платы по формуле 23:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}}, \quad (23)$$

где $ЗПЛ_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, формула 24,

$ЗПЛ_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, формула 25.

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}}, \quad (24)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка (100 руб./час),

$k_{\text{зпл}}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату (1.8284).

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_{\partial}}{100} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}}, \quad (25)$$

где k_{∂} – коэффициент соотношения между основной и дополнительной заработной платой (10%).

$$\begin{aligned} ЗПЛ_{\text{осн}} &= 100 \cdot 0.1 \cdot 1.8284 \\ &= 18.28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ЗПЛ_{\text{осн}} &= 100 \cdot 0.09 \cdot 1.8284 \\ &= 16.46 \end{aligned}$$

$$ЗПЛ_{дон} = \frac{10}{100} \cdot 18.28 = 1.83$$

$$ЗПЛ_{дон} = \frac{10}{100} \cdot 16.46 = 1.65$$

$$\PhiЗП = 18.28 + 1.83 = 20.11$$

$$\PhiЗП = 16.46 + 1.65 = 18.11$$

Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле (26):

$$O_{с.н.} = \frac{H_{соц} \cdot \PhiЗП}{100}, \quad (26)$$

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

$$O_{с.н.} = \frac{30 \cdot 20.11}{100} = 6.03$$

$$O_{с.н.} = \frac{30 \cdot 18.11}{100} = 5.43$$

Технологическая себестоимость изделия, формула 27:

$$C_{тех} = 3M + 3_{э-э} + 3_{об} + 3_{плоч} + \PhiЗП + O_{с.н} \quad (27)$$

$$C_{техб} = 600 + 0.004 + 9.25 + 0.005 + 20.11 + 6.03 = 635.4 \text{ руб.}$$

$$C_{техп} = 600 + 0.0007 + 28.26 + 0.007 + 18.11 + 5.43 = 651.81 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость изделия, формула 28:

$$C_{цех} = C_{тех} + P_{цех}, \quad (28)$$

где $P_{цех}$ – цеховые расходы, формула 29.

$$P_{цех} = k_{цех} \cdot ЗПЛ_{осн}, \quad (29)$$

где $k_{цех}$ – коэффициент цеховых расходов = 2,5.

$$P_{цех} = 2.5 \cdot 18.28 = 45.7$$

$$P_{цех} = 2.5 \cdot 16.46 = 41.15$$

$$C_{цех} = 635.4 + 45.7 = 681.1$$

$$C_{цех} = 651.81 + 41.15 = 692.96$$

Заводская себестоимость изделия, формула 30:

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав}, \quad (30)$$

где $P_{зав}$ – заводские расходы, формула 31.

$$P_{зав} = k_{зав} \cdot ЗПЛ_{осн}, \quad (31)$$

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

$$P_{зав} = 1.8 \cdot 18.28 = 32.9$$

$$P_{зав} = 1.8 \cdot 16.46 = 29.63$$

$$C_{зав} = 681.1 + 32.9 = 714$$

$$C_{зав} = 692.96 + 29.63 = 722.59$$

Полная себестоимость изделия:

$$C_{полн} = C_{зав} + P_{вн},$$

где $P_{вн}$ – внепроизводственные расходы, формула 32.

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{зав}, \quad (32)$$

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

$$P_{вн} = 0.05 \cdot 714 = 35.7$$

$$P_{вн} = 0.05 \cdot 722.59 = 36.13$$

$$C_{полн} = 714 + 35.7 = 749.7$$

$$C_{полн} = 722.59 + 36.13 = 758.72$$

Таблица 11 - Калькуляция себестоимости изделия

Статьи затрат	Ручной	Автоматизированный
Материалы	600	
Электроэнергия	0.004	0.0007
На содержание и эксплуатацию оборудования	9.25	28.26
На содержание занимаемой под оборудование площади	0.005	0.007
Основная заработная плата	18.28	16.46
Дополнительная заработная плата	1.83	1.65
Отчисления на социальное страхование	6.03	5.43
Технологическая себестоимость	635.4	651.81
Цеховая себестоимость	681.1	692.96
Заводская себестоимость	714	722.59
Внепроизводственные расходы	35.7	36.13
Полная себестоимость	749.7 руб.	758.72 руб.

5.2 Расчет показателей экономической эффективности

Годовой экономический эффект от внедрения, формула 33:

$$\mathcal{E}_z = \left[\left(C_{полн}^{баз} + E_n \cdot K_{уд}^{баз} \right) - \left(C_{полн}^{проект} + E_n \cdot K_{уд}^{проект} \right) \right] \cdot N_{пр}, \quad (33)$$

где $C_{полн}^{баз}$ и $C_{полн}^{проект}$ – полная себестоимость продукции,

E_n – коэффициент сравнительной экономической эффективности $E_n = 0,33$,

$K_{уд}^{баз}$ и $K_{уд}^{проект}$ – удельные капитальные вложения (ручного – 150,

автоматизированного - 500).

$$\mathcal{E}_2 = [(749.7 + 0.33 \cdot 150) - (758.72 + 0.33 \cdot 500)] \cdot 2000 = -249040 \text{ руб.}$$

Исходя из отрицательного результата по годовому экономическому эффекту, можно сделать вывод, что внедрение дорогостоящего автоматизированного оборудования при норме выпуске деталей в 2000 штук приведет к убыткам компании. Но с повышением нормы выпуска подобного рода оборудование себя окупит.

Снижение трудоёмкости изготовления изделия рассчитывается по формуле (34):

$$\Delta t_{ум} = \frac{t_{ум}^{баз} - t_{ум}^{проектн}}{t_{ум}^{баз}} \cdot 100\% \quad (34)$$

$$\Delta t_{ум} = \frac{6.1 - 5.8}{6.1} \cdot 100\% = 5\%$$

«Исходя из значения величины снижения трудоёмкости изготовления изделия рассчитываем повышение производительности труда $\Delta\Pi_T$ » [18]:

$$\Delta\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{ум}}{100 - \Delta t_{ум}} = \frac{100 \cdot 5}{100 - 5} = 5.2\%$$

Заключение

В данной работе представлена разработка технологического процесса по ультразвуковой ручной сварки вставки панели приборов легкового автомобиля. В процессе работы было рассчитано и смоделировано все необходимое оборудование для выполнения сборки вставки панели приборов, которое включает в себя ультразвуковой генератор и ручное устройство, оснащенное ультразвуковой магнитострикционной колебательной системой. Были проанализированы вопросы, которые освещают безопасность и экологичность объекта. А также проведен анализ экономической эффективности по сравнению ручного ультразвукового комплекса и автоматической линии.

Список используемой литературы и используемых источников

1. 10 самых интересных и знаковых автомобилей из пластика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/b/461988948541965175>
2. Адгезия: за и против... [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elitstroy.su/stati/adgeziya-za-i-protiv>
3. Виды автомобильных пластиков [Электронный ресурс]. URL: <https://kuzov.info/>
4. Волков, С.С. Особенности образования сварных соединений при ультразвуковой сварке пластмасс / С.С. Волков, А.В. Малолетков, Н.В. Коберник // Сварочное производство. – 2018. – №2. – С. 50–55.
5. Дебердиева, Е.М. Конкурентоспособность отечественных полимеров: проблемы и потенциал развития / Е.М. Дебердиева, М.В. Вечкасова // Теория и практика общественного развития. – 2015. – №1. – С. 54–56.
6. Закат эпохи стали, почему мы скоро увидим пластиковый автомобиль [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/347665>
7. Зубкова, Н.В. Учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела дипломного проекта для студентов, обучающихся по специальности 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Тольятти: ТГУ, 2020. – 123 с.
8. Интернешнл Пластик Гайд [Электронный ресурс]. URL: <https://ipgrussia.ru/>
9. Исследование воздействия энергетических полей на полиэтилен / И.В. Мозговой [и др.] // Омский вестник. – 2006. – №10. – С. 76–84.
10. Исследование ультразвуковой сварки полимеров / В.В. Клубович [и др.] // Metallurgy машиностроения. – 2017. – №5. – С. 31–40.
11. Какой выбрать монтаж – ручной, электромеханический, механический? [Электронный ресурс]. URL:

<https://lensvaya.ru/stati/kakoj-vybrat-montazh-ruchnoj-elektromekhanicheskij-mekhanicheskij>

12. Климов, А.С. Машиностроение. Выполнение выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы): электронно-методическое пособие / А.С. Климов – Тольятти: ТГУ, 2022. – 61 с.
13. Комаров, Г. В. Новые достижения в области сварки полимерных материалов / Г.В. Комаров // Полимерные материалы. – 2017. – №9. – С. 44–49.
14. Марочный ассортимент композиционных материалов [Электронный ресурс]. URL: http://polimpartner.by/wp-content/uploads/2018/09/Katalog_na_marochnyj_assortiment.pdf
15. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата. - Тольятти: ТГУ, 2020-39 с.
16. Моторин, К.В. Методические указания по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения. - Тольятти: ТГУ, 2020-7 с.
17. Полимеры в автомобилестроении [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/encyklopedia/polimeryi-v-avtomobilestroenii/>
18. Спиридонов, Н.Г. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки бампера автомобиля ВАЗ-21214 Urban : выпускная квалификационная работа : 15.03.01 / Н.Г. Спиридонов. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 68 с.
19. Ультразвуковое оборудование herrman [Электронный ресурс]. URL: <https://www.herrmannultrasonics.com/en-us/>
20. Ультразвуковое оборудование dukane [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dukane.eu/en/>
21. Характеристики PE-пластика [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PE-пластик>

22. Shih-Jung Liu. Factors affecting the joint strength of ultrasonically welded polypropylene composites / Shih-Jung Liu, I-Ta Chang, Shiu-Wan Hung // Polymer Composites. – 2001. – vol. 22. – №1. – P. 132–141.
23. Unnikrishnan, T.G. A review study in ultrasonic-welding of similar and dissimilar thermoplastic polymers and its composites / T.G. Unnikrishnan, P. Kavan // Materials Today: Proceedings. – 2022. – vol. 56. – №6. – P. 3294–3300.
24. Ultrasonically welded and non-welded polypropylene and PC-ABS blend thermal analysis / T. Chinnadurai [and etc.] // // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – vol. 132. – P. 1813–1824.