

## РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

А.Д. Абрамов, А.Н. Сливин, С.Н. Цыганок, М.В. Хмелев

*Бийский технологический институт (филиал)*

*ГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

**Аннотация** – Ультразвуковая сварка является самым перспективным способом получения качественного сварного соединения термопластичных полимерных материалов. В статье представлены результаты исследований по разработке специализированного ультразвукового оборудования для ультразвуковой кольцевой сварки. Созданное оборудование рекомендуется применять для ультразвуковой сварки изделий из термопластичных материалов, где необходимо обеспечить надежное герметичное соединение по кольцевому шву.

Совершенствование технологии ультразвуковой сварки для обеспечения кольцевых сварных соединений изделий из термопластичных материалов обусловлено необходимостью создания надежной системы герметичного соединения элементов из термопластичных материалов.

В технологиях зарубежных производителей для этих целей применяется четыре технологических способа: склеивание, термическая, фрикционная и ультразвуковая сварка. Однако для склеивания различных полимеров требуется множество специальных клеев и тщательная очистка соединяемых поверхностей от жиров, масел и других загрязнений. Кроме того, использование клеев не всегда обеспечивает необходимое качество соединения и неприменимо для изделий пищевой промышленности. Термическая сварка применяется при соединении ограниченного ряда изделий, так как прогрев изделий из полимерных материалов толщиной более 100 мкм требует продолжительного времени, что приводит к термическому разрушению большинства полимеров и выделению вредных веществ [3]. Для обеспечения фрикционной сварки необходимо сложное технологическое оборудование, обеспечивающее сжатие соединяемых деталей с одновременным вращением. Кроме этого, фрикционная сварка применима только к деталям, имеющим форму тел вращения, без геометрических отклонений и требует продолжительного времени получения неразъемного соединения.

Таким образом, склеиванием, термической и фрикционной сваркой трудно реализовать технологический процесс получения качественного сварного соединения термопластичных материалов за короткий промежуток времени [1].

Ультразвуковая сварка лишена перечисленных недостатков, но отсутствует специализированное ультразвуковое оборудование, удовлетворяющее высоким требованиям современного производства, обеспечивающее высокую надежность герметичного сварного соединения с возможностью получения кольцевого сварного шва шириной до 4 мм и диаметром до 46 мм.

Поэтому существует необходимость разработки и создания специализированного ультразвукового оборудования, используемого при производстве изделий, где требуется формирование герметичных кольцевых сварных швов разного диаметра.

В зарубежной практике при изготовлении изделий, требующих получения кольцевого сварного соединения, наибольшее распространение получил вариант фрикционной сварки, при реализации которого повышение температуры на соединяемых поверхностях деталей достигается за счет их трения между собой. Одна часть изделия вращается относительно другой с трением, соединяемые поверхности разогреваются до заданной температуры, затем осуществляется остановка, и под давлением элементы соединяются. Такой вариант фрикционной сварки требует больших энергозатрат, продолжительного времени сварки (5...25 сек), непрерывного контроля параметров и практически реализуем только на

изделиях, не имеющих геометрических отклонений по толщине, и только при использовании специальных дорогостоящих полимерных материалов.

В связи с этим возникла необходимость в создании простой и эффективной технологии, способной обеспечить качественное кольцевое сварное соединение и разработать специализированное оборудование.

Проведенный анализ функциональных возможностей различных способов сварки применительно к материалам и типу сварного соединения позволил предложить в качестве способа, способного решить поставленную задачу – способ ультразвуковой низкотемпературной сварки.

Анализ возможностей ультразвукового способа сварки применительно к решению проблемы формирования кольцевого сварного соединения позволил выявить его несомненные достоинства, к основным из которых можно отнести:

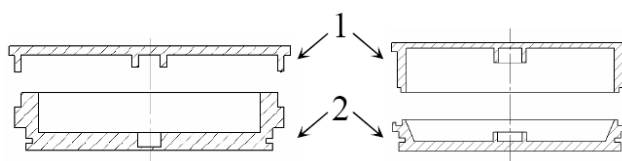
- возможность получения надежного герметичного сварного соединения при температуре, меньшей температуры плавления материала [2], что позволяет избежать термического разложения материала и повысить качество сварного соединения;

- возможность повышения качества сварного шва за счет увеличения диффузионного взаимопроникновения свариваемых материалов, обусловленного знакопеременными механическими напряжениями в ультразвуковом поле высокой интенсивности [7];

- возможность автоматического контроля процесса ультразвуковой сварки, что позволяет управлять процессом и использовать на автоматизированных линиях;

- возможность получения качественного сварного соединения за время, не превышающее долей секунды.

В настоящее время существует необходимость формирования герметичного кольцевого соединения крышки с корпусом при производстве компасов разных типоразмеров. Эскизы компасов представлены на рисунке 1.



1 – крышка; 2 – корпус

Рисунок 1 – Элементы компаса

В связи с этим возникает необходимость в создании специализированного ультразвукового оборудования, способного обеспечить максимальную прочность и герметичность кольцевого сварного шва.

Для практической реализации специализированного ультразвукового оборудования необходимо решить следующие технические задачи:

- разработать конструкции ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) для обеспечения максимального коэффициента усиления и амплитуды колебаний при формировании герметичных кольцевых сварных швов диаметром 46 мм и 38 мм;

- разработать узел крепления ультразвуковой колебательной системы. Узел крепления должен обеспечивать минимальное демпфирование ультразвуковой колебательной системы.

- для обеспечения электрического питания двух колебательных систем необходимо разработать электронный блок – генератор ультразвуковых колебаний с автоматическим управлением, которое обеспечивает работу электронного генератора в оптимальном режиме.

- для обеспечения эффективного ультразвукового воздействия определить оптимальные значения амплитуды колебаний, усилия сжатия, временных интервалов ультразвукового воздействия для обеспечения качественного герметичного сварного соединения разных по размеру корпусов компасов.

Для герметичного соединения корпуса компаса необходимо обеспечить ультразвуковую сварку по кольцевому шву. Для практической реализации ультразвуковой сварки корпусов

компасов было разработано и изготовлено специализированное ультразвуковое оборудование, состоящее из сварочного узла и электронного блока.

В состав сварочного узла (рисунок 2) входят две пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы, которые служат для преобразования электрических ультразвуковых колебаний в механические ультразвуковые колебания, их усиление и ввод их в зону сварки с помощью рабочих сварочных инструментов двух типоразмеров.

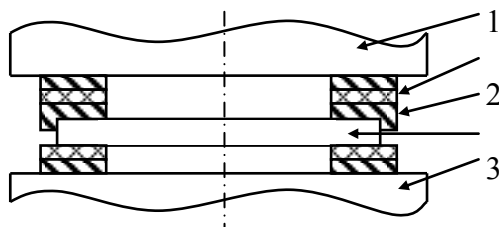


Рисунке 2 – Пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы

Каждая колебательная система состоит из пьезоэлектрического преобразователя, изготовленного из сплава марки В-95, и рабочего сварочного инструмента, изготовленного из ВТ-5. Рабочий сварочный инструмент имеет специальную форму для формирования замкнутого кольцевого шва. Он является элементом, с помощью которого осуществляется отбор мощности, поглощаемой в зоне сварки [6, 8].

Узел крепления расположен в точке минимальных механических колебаний и обеспечивает минимальное демпфирование ультразвуковой колебательной системы для обеспечения максимальной амплитуды колебаний.

Для обеспечения минимального демпфирования колебательной системы и исключения передачи ультразвуковых колебаний на защитный корпус ультразвуковых колебательных систем разработана акустическая развязка, показанная на рисунке 3.



1 – корпус УЗКС; 2 – резина; 3 – капролон; 4–узел крепления преобразователя; 5–фланец

Рисунок 3 – Конструкция прокладок

Предложенная конструкция исключает передачу колебаний на корпус и сводит практически на нет вредное влияние на обслуживающий персонал.

Созданные ультразвуковые колебательные системы обеспечивают равномерное распределение амплитуды колебаний порядка 45 мкм по всей поверхности рабочего инструмента. Это является необходимым и достаточным условием для формирования сварочного шва при ультразвуковом воздействии на термопластичные материалы [2, 4, 5].

В состав электронного блока входит генератор ультразвуковых колебаний с узлом автоматического управления и контроля процессом сварки. Для обеспечения согласования выходного контура электронного генератора с двумя разными колебательными системами используются выходные обмотки трансформатора и индуктивности L1 и L2, переключаемые высоковольтными реле К1 и К2 (рисунок 4).

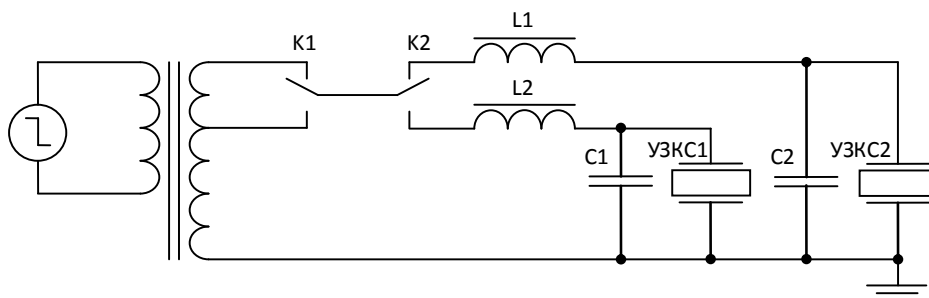
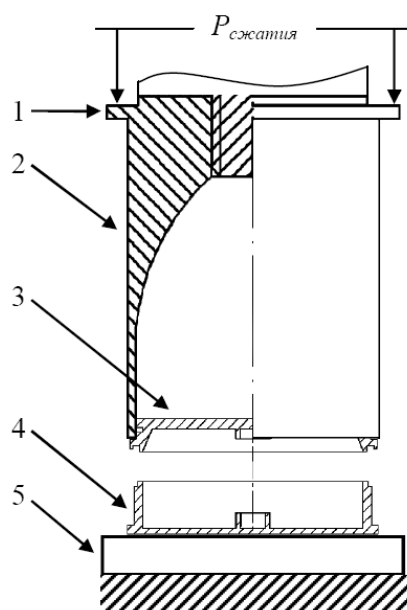


Рисунок 4 – Схема выходного контура электронного генератора

В электронном блоке предусмотрены регулятор выходной мощности и система автоматической подстройки частоты. Они меняют параметры ультразвукового воздействия в зависимости от изменения температурных параметров ультразвуковой колебательной системы и свойств свариваемых полимерных материалов. Это позволяет обеспечить герметичность и требуемое качество сварного шва корпуса компаса.



1– узел крепления; 2– концентратор; 3– крышка; 4– корпус; 5– упорное основание

Рисунок 5 – Схема ультразвуковой сварки элементов корпуса компаса

Выбор колебательной системы, времени ультразвукового воздействия, уровня выходной мощности 50...1000 Вт и амплитуды колебаний рабочего сварочного инструмента 10...45 мкм производится с панели управления.

Технология и общая схема ультразвуковой сварки элементов корпуса компаса такова (рисунок 5):

Свариваемые детали компаса 3, 4 устанавливаются на упорное основание 5. После этого осуществляется перемещение колебательной системы к деталям компаса до соприкосновения с ними. Детали компаса сжимаются с усилием  $P_{сжатия}$ . После этого включается ультразвуковой генератор и производится ввод ультразвуковых колебаний в зону сварки в течение заданного интервала времени, который устанавливается на панели управления электронного блока.

В процессе ввода ультразвуковых колебаний происходит переход материала в вязкопластичное состояние, обеспечивается быстрое размягчение свариваемых поверхностей. Диффузионные процессы, протекающие под действием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, обеспечивают взаимное проникновение материалов друг в друга при температурах меньших температуры их разложения.

По истечении времени, необходимого и достаточного для сварки, генератор выключается и производится удержание свариваемых деталей, происходит формирование и отверждение сварного шва. Далее снимается усилие  $P_{\text{сжатия}}$ , производится освобождение изделия из зоны сварки. Весь цикл получения герметичного соединения не превышает 3 секунд и зависит от свойств материала свариваемых деталей.

Для получения герметичного сварного шва свариваемых деталей компаса необходимо произвести выбор основных параметров и режимов ультразвуковой сварки.

Основными параметрами, определяющими скорость и качество ультразвуковой сварки, являются: амплитуда ультразвуковых колебаний величина усилия сжатия, интервал времени ультразвукового воздействия и интервал времени удержания свариваемых материалов.

При выборе технологических режимов и параметров сварки нужно учитывать, что интенсивность выделяемой ультразвуковой энергии в зоне сварки, в результате поглощения ультразвуковых колебаний зависит от акустического контакта и площади вводимой энергии. На акустический контакт огромное влияние оказывает величина усилия сжатия, т.е. обеспечение равномерного усилия прижима излучающей поверхности рабочего инструмента по всему контуру кольцевого сварного шва.

Таким образом, для обеспечения оптимального качества сварного соединения корпуса компаса необходимо выбрать технологические параметры ультразвуковой сварки: величину усилия сжатия, амплитуду колебаний, интервал времени ультразвукового воздействия и времени удержания свариваемых материалов.

В процессе отработки технологических параметров процесса сварки, изготовленным оборудованием, установлено, что наилучшее качество сварных соединений достигается при величине усилия сжатия 1500Н, амплитуды колебаний 40 мкм, времени ультразвукового воздействия 1 сек для №1 системы и 2.5 сек для №2 системы, времени полимеризации свариваемых материалов 1 сек.

Герметичность сварного соединения проверялась следующим способом: сваренный корпус заполнялся водой через отверстие, затем отверстие герметично заклеивалось, и корпус сдавливался с двух сторон усилием 50Н. На поверхности качественного сварного шва не образуется подтеков. На рисунке 6 представлены фотографии внешнего вида сваренных компасов, наполненных водой.



Рисунок 6 – Корпуса компасов, заполненные водой

В результате проведенных исследований разработано и изготовлено специализированное ультразвуковое оборудование для сварки изделий из термопластичных материалов, где необходимо обеспечить надежное герметичное соединение по кольцевому шву. При его создании решены следующие технические задачи:

- разработана конструкция ультразвуковой колебательной системы и два сварочных рабочих инструмента двух типоразмеров для формирования кольцевого сварного шва;
- разработан электронный блок – генератор ультразвуковых колебаний и блок автоматического управления, обеспечивающий работу электронного генератора в оптимальном режиме;

– определены оптимальные значения амплитуды колебаний, усилия сжатия, временных интервалов ультразвукового воздействия для обеспечения герметичного сварного соединения корпуса компаса.



Рисунок 7 – Ультразвуковое оборудование для кольцевой сварки термопластичных материалов «ГИМИНЕЙ-УЛЬТРА 5»

В таблице 1 представлены технические характеристики, разработанного ультразвукового оборудования, представленного на рисунке 7.

Таблица 1 – Технические характеристики разработанного ультразвукового оборудования

|   |             |
|---|-------------|
| Напряжение питающей электрической сети, В   | 220±20      |
| Частота напряжения питающей электрической сети, Гц  | 50±0,1      |
| Мощность, потребляемая от электрической сети, ВА, не более  | 1000        |
| Номинальная частота ультразвуковых колебаний, кГц   | 22±1,65     |
| Время ультразвукового воздействия в цикле сварки, с   | 1-3         |
| Габаритные размеры электронного блока, мм   | 270x500x120 |
| Габаритные размеры колебательной системы, мм  | Ø80x300     |
| Масса электронного блока, кг, не более  | 12          |
| Вес колебательной системы, кг, не более   | 3           |
| Амплитуда колебаний на торцевой поверхности рабочего инструмента при максимальной мощности, мкм, не менее | 30-40       |

Проведенные исследования показали, что разработанное специализированное оборудование обеспечивает высокое качество сварного соединения. Созданное ультразвуковое оборудование рекомендуется применять для ультразвуковой сварки изделий из термопластичных материалов, где необходимо обеспечить надежное герметичное соединение по кольцевому шву.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком, М., Химия.
- [2] Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Шалунов А.В., Савин И.И., Левин С.В., Хмелев М.В., Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки элементов картриджа для очистки воды // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП - 2003): Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: АлтГТУ, 2003 – с.202-210.
- [3] Зайцев К.И., Мацук Л.И. Сварка пластмасс. – М.: Машиностроение, 1978.

- [4] Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК7 А 61 J 1/05, В 65 В 51/22. Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2004115358/14; заявл. 20.05.04; опубл. 10.02.06, Бюл. № 4 – 9с.: ил.
- [5] Пат. 2241599 Российская Федерация, МПК7 В 29 С 65/08. Способ герметизации картриджей для очистки воды / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В., Савин И.И., Хмелёв М.В., Левин С.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2003136136/12; заявл. 11.12.03; опубл. 10.12.04, Бюл. №34. – 8с.: ил.
- [6] Теумин И. И. Коэффициент полезного действия ультразвуковых концентраторов // Акустический журнал.- 1963.- Т.9, №2.-С.205-208.
- [7] Фаерман В.Т. Применение ультразвука для обработки текстильных материалов, «Легкая индустрия», 1969, 140 с.
- [8] Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. -Л,: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 224 с.: ил.