

Разработка Ультразвуковых Колебательных Систем для Формирования Кольцевых Сварных Швов

Владимир Н. Хмелев, д.т.н., *Senior Member*, IEEE, Алексей Н. Сливин, к.т.н.,
Алексей Д. Абрамов, *Student Member*, IEEE

Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ 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 специализированных ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) для ультразвуковой кольцевой сварки. Созданные УЗКС рекомендуется применять для ультразвуковой сварки изделий из термопластичных материалов, где необходимо обеспечить герметичное соединение по кольцевому шву.

Ключевые слова – Колебательная система, кольцевой сварной шов, полимерный материал, ультразвуковая сварка.

I. ВВЕДЕНИЕ

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОЧНО вошли в нашу жизнь. В настоящее время они применяются практически во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства и в быту. Объемы производства пластмасс и изделий из полимерных термопластичных материалов превышают объемы производства традиционных конструкционных материалов, таких как сталь, стекло, керамика и др. [3].

В связи с этим существует необходимость в соединении деталей, изготовленных из однородных и разнородных полимерных материалов, пленок, текстильных материалов на основе полимерных волокон. Зачастую необходимо, чтобы детали были соединены герметично. Простым примером является необходимость соединения деталей по кольцу: при производстве картриджей для очистки воды, компасов, расширительных бачков и т.д. (см. Рис.1).



Рис. 1. Образцы изделий из полимерных термопластичных материалов

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Герметичное соединение изделий из полимерных термопластичных материалов можно обеспечить такими способами как: склеивание, термическая сварка, сварка токами высокой частоты, сварка трением и ультразвуковая сварка. Каждый из способов характеризуется как положительными, так и отрицательными сторонами [2,7].

Для склеивания полимерных материалов требуются специальные клеи, тщательная очистка соединяемых поверхностей от жиров, масел и других загрязнений и продолжительное время получения неразъемного соединения (до нескольких часов). 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 требует нагрева сварочного инструмента до высокой температуры, что приводит к термическому разрушению большинства полимеров и не обеспечивает необходимой прочности.

Высокочастотный способ соединения может использоваться только для полимеров с высокими диэлектрическими потерями, так как основан на поглощении полимерным материалом энергии токов высокой частоты, вызывающей внутренний разогрев материала. Поэтому, высокочастотный способ не пригоден для множества широко распространенных материалов, например, для полиэтиленовых пленок.

В зарубежной практике при изготовлении изделий, требующих получение кольцевого сварного соединения, наибольшее распространение получил вариант сварки трением, при реализации которого повышение температуры на соединяемых поверхностях деталей достигается за счет их трения между собой [1,6]. Одна часть изделия вращается относительно другой с трением, соединяемые поверхности разогреваются до заданной температуры, затем осуществляется

остановка и под давлением элементы соединяются. Такой вариант соединения 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 [10].

Особой проблемой является соединение тканей на основе синтетических волокон. Использование обычных способов соединения, в этом случае, не всегда приемлемо из-за высокой упругости синтетических волокон [9].

Таким образом, склеиванием, термической сваркой, сваркой токами высокой частоты и трением трудно реализовать технологический процесс получения качественного герметичного соединения термопластичных материалов за короткий промежуток времени.

Анализ возможностей ультразвукового способа сварки применительно к решению проблемы формирования кольцевого сварного шва позволил выявить его несомненные достоинства [2,7]:

- получение качественного сварного шва за время, не превышающее долей секунды;
- возможность сварки изделий, заполненных легковоспламеняющимися и взрывоопасными веществами;
- возможность сварки по загрязненным поверхностям как жидкими, так и сыпучими материалами;
- получение надежного герметичного шва при температуре, меньшей температуры термического разложения материала, что позволяет повысить качество сварного соединения;
- повышение качества сварного шва за счет увеличения диффузионного взаимопроникновения свариваемых материалов, обусловленного знакопеременными механическими напряжениями в ультразвуковом поле высокой интенсивности;
- автоматический контроль процесса ультразвуковой сварки позволяет управлять процессом и использовать его на автоматизированных линиях;

Таким образом, ультразвуковая сварка является наиболее эффективным и надежным способом герметичного соединения полимерных материалов, но отсутствует единый подход к проектированию и изготовлению ультразвуковых колебательных систем кольцевого типа, способных обеспечить формирование герметичных кольцевых сварных швов различного диаметра.

В связи с этим существует необходимость разработки и создания специализированного ультразвукового оборудования, предназначенного для производства изделий, где требуется фор-

мирование герметичных кольцевых сварных швов различного диаметра.

При формировании единого подхода к проектированию и созданию специализированного ультразвукового оборудования возникла необходимость:

- разработать конструктивные схемы пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) различных типоразмеров, способных обеспечить формирование и введение акустической энергии, необходимой для создания кольцевых швов площадью до 3000 мм²;
- создать полуволновые и многополуволновые колебательные системы, обеспечивающие максимальные значения коэффициента усиления и равномерного распределения амплитуды колебаний по всей рабочей поверхности сварочных инструментов при формировании герметичных кольцевых сварных швов;
- разработать узлы крепления, обеспечивающие минимальное снижение амплитуды колебаний ультразвуковых колебательных систем.

III. РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СВАРКИ ПО КОЛЬЦУ

Ультразвуковая колебательная система технологического назначения состоит из преобразователя, согласующего элемента и излучателя. В преобразователе (активном элементе колебательной системы) создается знакопеременная механическая сила. Согласующий элемент системы (пассивный) осуществляет трансформацию скоростей, согласование механического сопротивления внешней нагрузки и внутреннего сопротивления активного элемента. Излучатель создает ультразвуковое поле в обрабатываемом объекте или непосредственно воздействует на него [3,5].

Важнейшей характеристикой колебательной системы является резонансная частота, так как при возбуждении на резонансной частоте достигаются наибольшие значения амплитуды колебаний рабочего инструмента, что определяет эффективность процесса сварки [8].

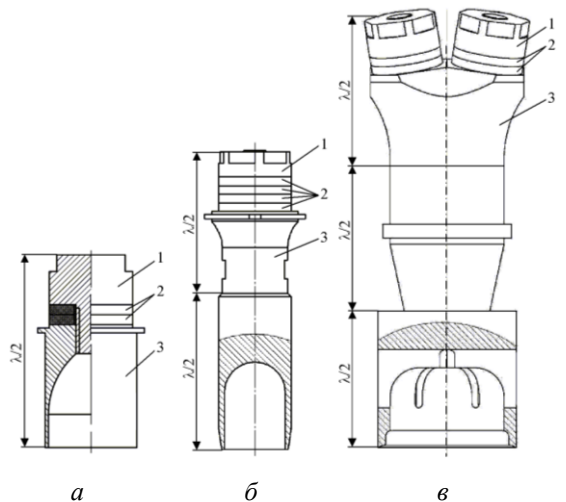
В некоторых случаях требуется увеличение амплитуды колебаний рабочего инструмента. Увеличение амплитуды можно достичь изменением формы перехода трансформатора (экспоненциальная, катеноидальная, ступенчатая и др.) или использованием многоступенчатых трансформаторов, состоящих из нескольких последовательно соединенных полуволновых звеньев.

При проектировании колебательной системы следует учесть, что по мере перехода от конической формы трансформатора к ступенчатой коэффициент усиления, т.е. отношение амплитуд

на его краях возрастает, но увеличивается острота резонансной кривой и, следовательно, чувствительность к изменению нагрузки. Использование многоступенчатого трансформатора делает систему очень чувствительной в настройке на резонанс, поэтому ограничиваются обычно одной-двумя ступенями усиления [4].

Проведенные теоретические исследования по моделированию процессов формирования УЗ колебаний и экспериментальные исследования различных вариантов практической реализации колебательных систем позволили предложить и разработать пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы, имеющие рабочее окончание кольцевой формы.

Резонансные размеры концентратора колебательной системы выбраны из условия оптимального согласования с пьезоэлектрическими преобразователями по частоте при обеспечении статического давления на рабочее окончание в процессе осуществления сварки. При таком подходе, соединения находятся в узлах напряжений и не испытывают больших знакопеременных механических нагрузок (см. Рис.2).



1 – отражающая накладка; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – излучающая накладка

a – полуволновая; *б* – двухполуволновая; *в* – трехполуволновая

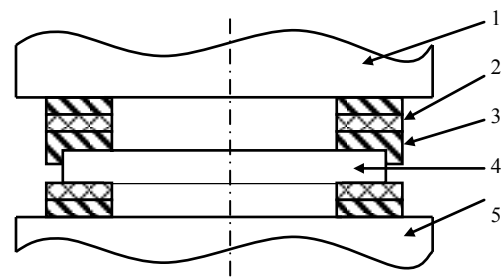
Рис. 2. Эскизы ультразвуковых колебательных систем

Пьезоэлектрические преобразователи выполнены по схеме преобразователя Ланжевена и состоят из последовательно размещенных и акустически связанных между собой резонансной отражающей накладки 1, пьезоэлектрических элементов 2 и рабочей излучающей накладки 3 (см. Рис.2). Отличительной особенностью разработанных преобразователей является смещение пьезоэлектрических элементов в сторону отражающей накладки относительно зоны максимальных механических напряжений и минимума механических колебаний. Это позволило повы-

сить электроакустический коэффициент преобразования и выполнить узел крепления преобразователя на рабочей накладке в зоне минимума механических колебаний. Наличие узла крепления позволило предложить специальную конструкцию защитных корпусов, и обеспечить установку колебательных систем в автоматизированные линии.

Хотя узел крепления расположен в зоне минимума механических колебаний, потери ультразвуковой энергии не могут быть сведены к нулю, так как в узловом сечении, кроме стоячих, имеются бегущие волны, соответствующие потерям энергии на поглощение в металле и на излучение. Кроме того, любые рассогласования колебательной системы при изменении массы инструмента, режима работы, ошибок в расчетах и подгонке приводят к смещению плоскостей узлов стоячих волн, узел крепления начинает влиять на амплитудно-частотную характеристику системы, и потери ультразвуковой энергии возрастают [4].

Для уменьшения влияния этих факторов разработана акустическая развязка, показанная на Рис.3.

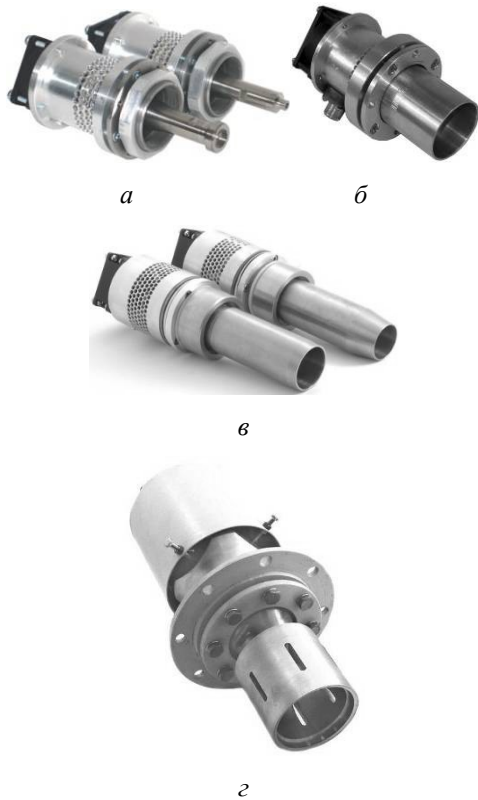


1 – корпус УЗКС; 2 – резина; 3 – капрон; 4 – узел крепления преобразователя; 5 – фланец

Рис. 3. Узел крепления корпуса колебательной системы

Размещение узла крепления преобразователя в зоне минимальных ультразвуковых колебаний и использование специальной конструкции зажима обеспечило минимальное демпфирование УЗКС и максимальную амплитуду колебаний излучающей поверхности рабочей накладки. Предложенная конструкция исключает передачу колебаний на корпус и сводит практически на нет вредное влияние на обслуживающий персонал.

Для обеспечения необходимых условий формирования кольцевых швов различного размера были предложены, разработаны и изготовлены полуволновые, двухполуволновые и многополуволновые УЗКС различной мощности (см. Рис.2), с излучающей поверхностью длиной до 300 мм, внешний вид типичных конструкций которых представлен на Рис.4.



a, б–полуволновая; *в*–двухполуволновая; *г*–трехполуволновая
Рис. 4. Пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы



Рис. 5. Ультразвуковое оборудование

Все колебательные системы выполнялись на базе пьезоэлектрических преобразователей. Концентраторы и рабочие инструменты изготавливались из сплавов В-95 и ВТ-5. Оптимизация формы и размеров, создаваемых ультразвуковых колебательных систем, позволила обеспечить

равномерное распределение амплитуды колебаний по всей поверхности рабочего окончания инструмента.

В результате проведенных исследований и разработок были созданы различные специализированные ультразвуковые аппараты, внешний вид некоторых представлен на Рис.5.

Разработанные аппараты отличаются мощностью ультразвукового воздействия и имеют различное функциональное назначение. Каждый из них обеспечивает надежное герметичное соединение по кольцевому шву изделий различного размера. На Рис.5,*а* представлен аппарат, предназначенный для герметичной сварки крышки и корпуса при сборке фильтров, применяющихся для очистки воды в бытовых фильтрах-кувшинах. При этом обеспечивался кольцевой шов диаметром 50 мм и шириной 2 мм. На Рис.5,*б* представлен аппарат, предназначенный для герметичной ультразвуковой сварки при производстве гальванических батарей. При этом обеспечивается кольцевой шов диаметром 15 мм и шириной 0,5 мм. На Рис.5,*в* представлен аппарат, предназначенный для герметичной ультразвуковой сварки при заполнении демпфирующей жидкостью корпусов туристических компасов. При этом обеспечивается кольцевой шов диаметром 60 мм и шириной 2 мм. На Рис.5,*г* представлен аппарат, предназначенный для соединения деталей расширительных бачков с тормозной жидкостью, диаметром 100 мм и герметизирующим швом шириной до 5 мм.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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:

- разработаны конструктивные схемы пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем различных типоразмеров, способных обеспечить формирование и введение акустической энергии, необходимой для создания кольцевых швов площадью до 3000 мм²;

- созданы полуволновые и многополуволновые колебательные системы обеспечивающие максимальные значения коэффициента усиления и равномерного распределения амплитуды колебаний по всей рабочей поверхности сварочных инструментов при формировании герметичных кольцевых сварных швов;

- разработаны узлы крепления, обеспечивающие минимальное снижение амплитуды колебаний ультразвуковых колебательных систем.

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.



Владимир Н. Хмелев — заместитель директора Бийского технологического института по НИР, профессор, доктор технических наук. Заслуженный изобретатель России. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Область научных интересов — ультразвуковая техника и технологии, применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств веществ и материалов. Член IEEE с 2000, IEEE Senior Member с 2004.

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] Казанцев Р.Ф. Расчет ультразвуковых преобразователей для технологических установок. – М.: Машиностроение, 1980. – 44 с.
- [4] Кайгородский Ю.И., Яхимович Д.Ф. Инженерный расчет ультразвуковых колебательных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 56 с.
- [5] Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. – М.: Машгиз, 1959. – 331 с.
- [6] Зайцев К.И., Мацук Л.И. Сварка пластмасс. – М.: Машиностроение, 1978.
- [7] 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., Хмелев 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.
- [8] Теумин И. И. Коэффициент полезного действия ультразвуковых концентраторов // Акустический журнал.- 1963.- Т.9, №2.-С.205-208.
- [9] Фаерман В.Т. Применение ультразвука для обработки текстильных материалов, «Легкая индустрия», 1969, 140 с.
- [10] Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1988. – 224 с.: ил.



Алексей Н. Сливин родился в г.Бийске, Россия, 1976. Кандидат технических наук. Областью научных интересов является ультразвуковая техника и технологии; применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств веществ и материалов; применение ультразвуковых колебаний для процессов сварки термопластических полимерных материалов.



Алексей Д. Абрамов родился в г.Бийске, Россия, 1984. Аспирант Бийского Технологического Института. С 2004 года член IEEE. Областью научных интересов является ультразвуковая техника и технологии; применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств веществ и материалов; применение ультразвуковых колебаний для процессов сварки термопластических полимерных материалов.