

Развитие метода ультразвуковой сварки и создание оборудования для соединения термопластичных материалов.

Владимир Н. Хмелев, Алексей Н. Сливин, Роман В. Барсуков,
Сергей Н. Цыганок, Игорь И. Савин, Андрей В. Шалунов,
Сергей В. Левин, Алексей Д. Абрамов
Бийский технологический институт

Аннотация – В статье представлены результаты исследований, направленных на развитие ультразвуковой сварки термопластичных материалов и создание специализированного ультразвукового оборудования, в котором за счет непрерывного контроля акустических характеристик соединяемых материалов по электрическим параметрам пьезоэлектрических колебательных систем автоматически устанавливается режим оптимального ультразвукового воздействия и обеспечивается наилучшее качество сварного соединения.

I. ВВЕДЕНИЕ.

Ультразвуковая сварка – одна из самых распространенных и эффективных технологий, основанных на интенсификации процессов под действием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности. В условиях современных производств ультразвуковая сварка позволила решить многие проблемы, связанные с обеспечением качественного, герметичного соединения любых термопластичных материалов и деталей сложных изделий. Ультразвуковая сварка, в большинстве практических производств, успешно заменила термические, высокочастотные, фрикционные и другие известные методы сварки [1].

Широкое распространение ультразвуковой сварки объясняется тем, что при выборе оптимальной технологии и необходимого оборудования разработчики и технологи основываются на широком известных достоинствах и преимуществах ультразвуковой сварки:

- возможности соединения любых термопластичных материалов при температуре, ниже температуры их плавления, без термического разложения и газовыделения в механизированном или автоматизированном режимах;

- обеспечении формирования качественного герметизирующего шва при наличии любых видов загрязнений (порошкообразных, жидких и др.) на поверхностях соединяемых материалов и деталей;

- возможности выполнения сложных по форме швов при одностороннем доступе к участку формирования шва и даже, при дистанционном воздействии.

Перечисленные преимущества ультразвуковой сварки привели к тому, что сегодня, при создании новых материалов и изделий уже не возникает вопроса о выборе метода их сварки. При этом, основная проблема заключается в правильном выборе оптимального варианта (способа) реализации ультразвуковой сварки и применении существующего

или создании нового специализированного оборудования.

К сожалению, очевидные во многих случаях варианты ультразвуковой сварки до настоящего времени не реализованы на практике из-за отсутствия универсального или специализированного оборудования и из-за сложности создания такого оборудования. Эти проблемы обусловлены множеством влияющих факторов, без выявления и учета которых невозможно дальнейшее развитие ультразвуковой сварки.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Метод ультразвуковой сварки заключается в преобразовании электрической энергии промышленной сети в энергию электрических колебаний ультразвуковой частоты, преобразовании этой энергии при помощи пьезоэлектрической или магнитострикционной колебательной системы в механические колебания излучающей поверхности, контактирующей со свариваемым изделием.

За счет поглощения ультразвуковой энергии в полимерных материалах и трения на границе соединения происходит повышение температуры зоны контакта и перевод материалов в вязкопластичное состояние. При наличии статического давления и создании акустического контакта свариваемых поверхностей, за счет интенсификации процесса диффузии, формируется сварной шов, прочность материала которого составляет не менее 70% от прочности соединяемых материалов [2]. Разнообразие решаемых задач, форм изделий, типов используемых полимерных материалов, с одной стороны, и высокие требования к качеству, производительности и стоимости оборудования, с другой стороны, обуславливают актуальность исследований, направленных на совершенствование метода УЗ сварки

и создание нового оборудования для его практической реализации.

В каждом отдельном случае проблема практического применения ультразвуковой сварки решается путем последовательного решения следующих задач:

1. Анализа конструктивных особенностей свариваемого изделия, формы и размеров участка формирования шва. Выбора, на основе анализа и с учетом коэффициента затухания ультразвуковых колебаний в свариваемых материалах, технологической схемы ультразвуковой сварки, т.е. способа передачи энергии к свариваемым поверхностям. Выбор обычно осуществляется из двух вариантов. Первый вариант – контактный (непосредственно в зону контакта свариваемых поверхностей через материал одной из соединяемых деталей). Второй – передаточный (из удаленного от зоны сварки участка, но удобного для обеспечения акустического контакта с излучающей поверхностью колебательной системы);

2. Выбора схемы перемещения колебательной системы относительно участка сварки и установливание способа и механизма перемещения колебательной системы в процессе формирования шва. На практике могут быть реализованы два основных способа формирования шва - скользящий (непрерывный контакт излучающей поверхности с изделием) или пошагово – прессовый (пошаговое формирование сварного шва);

3. Выбора режимов ультразвуковой сварки, заключающихся в определении необходимого и достаточного оптимального ультразвукового воздействия, при формировании заданного шва, и в определении количества энергии ультразвуковых колебаний, вводимых в зону сварки. Количество этой энергии зависит от условий ввода, отражений и затухания при распространении, но, при наличии достаточной для формирования шва энергии, определяется условиями дозирования этой энергии.

В настоящее время осуществляются следующие принципы выбора оптимальных режимов УЗ сварки:

- установка необходимого и достаточного времени ультразвукового воздействия, при заданной мощности электронного генератора (определенной энергии УЗ колебаний в зоне сварки);

- формирование сварного шва по фиксированному зазору между излучающей поверхностью и опорой (или по фиксированной осадке слоя свариваемого материала);

- на основании контроля амплитуды колебаний опоры;

Кроме выбора режимов ультразвуковой сварки и оптимального для каждого типа свариваемого изделия принципа дозирования, любой из них может быть реализован на практике только после индивидуальной регулировки в процессе отработки технологии сварки.

При этом даже незначительные изменения конструкции, или свойств материалов свариваемого изделия, требуют оперативного изменения количества энергии ультразвуковых колебаний, вводимых в зону сварки. На практике осуществить это невозможно.

В связи с этим, для получения качественных швов при ультразвуковой сварке специализированное оборудование оснащается системами стабилизации параметров, влияющих на качество сварного соединения (амплитуда колебаний, усилие прижима, время УЗ воздействия). Однако, при изменении параметров свариваемых материалов и площади шва, стабилизация параметров УЗ сварки не обеспечивает стабильного качества сварного соединения. В связи с этим управление процессом сварки осуществляется вручную, путем изменения мощности, и (или) временных параметров УЗ воздействия.

Необходимость ручного изменения двух независимых параметров (мощности генератора, питающего колебательную систему сварочного аппарата и времени УЗ воздействия, необходимого и достаточного для формирования качественного сварного шва), особенно при необходимости формирования сварного шва на различных материалах, обуславливает низкое качество сварки и возможность термического разложения формируемого шва. При этом не учитывается, что сварка идет при нестационарном давлении на колебательную систему (усилии прижима), обусловленном размягчением свариваемого материала при воздействии ультразвуковых колебаний.

В связи с этим необходимо разработать новый способ автоматического управления процессом сварки, позволяющий обеспечить выбор оптимальных режимов УЗ воздействия на различные термопластичные материалы в процессе УЗ сварки. Новый способ автоматического управления способ должен обеспечить возможность оптимизации параметров мощности и временного воздействия для получения качественного сварного соединения полимерных термопластичных материалов.

III Влияние дестабилизирующих факторов на параметры УЗКС в процессе ультразвуковой сварки.

Известна особенность ультразвукового воздействия на различные среды, в том числе и при сварке, заключающаяся в том, что изменение физических (акустических) свойств среды под воздействием ультразвуковых колебаний оказывает обратное влияние на параметры ультразвуковых колебательных систем, такие как резонансная частота, добротность, амплитуда механических колебаний.

В ходе реализации процесса ультразвуковой сварки происходит изменение свойств термопластичных материалов. Происходит размягчение и переход в вязкопластичное состояние свариваемых полимерных материалов в результате поглощения энергии ультразвуковых колебаний. В результате изменения свойств материалов происходит нежелательное

уменьшение сварочного усилия, изменение резонансной частоты и уменьшение добротности колебательной системы. Как следствие, это приводит к рассогласованию колебательного контура и изменению амплитуды колебаний, разогреву ультразвуковой колебательной системы и изменению резонансной частоты, и др.

В результате этого стабильность технологического процесса ультразвуковой сварки и обеспечение надежности сварного соединения приобретает особое значение.

Для получения качественного сварного соединения термопластичных материалов обычно производят изменение следующих параметров: амплитуды колебаний излучающей поверхности УЗКС, величины сварочного усилия и продолжительности ультразвукового воздействия. Варьирование последним параметром получило наиболее широкое применение.

Кроме того, существуют технические решения [3,4,5,6], которые предлагают ряд способов косвенной оценки качества сварки, базирующихся на измерениях электрических параметров ультразвуковых колебательных систем.

Все это послужило основой цикла исследований, целью которых явился поиск зависимости между изменяющимися свойствами полимерных материалов в процессе формирования шва (ультразвуковой сварки) и амплитудой механических колебаний излучающей поверхности пьезоэлектрической колебательной системы.

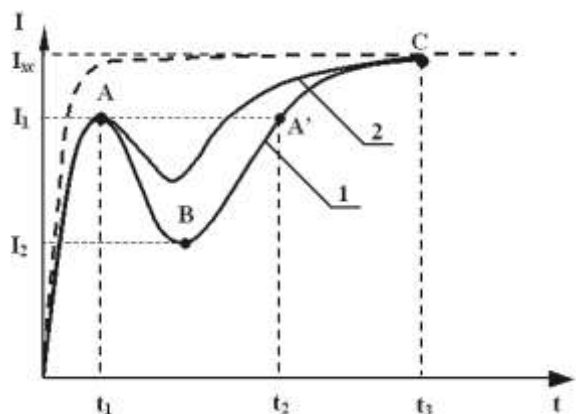


Рисунок 1 - Зависимость амплитуды тока, протекающего через пьезокерамические элементы ультразвукового излучателя в процессе формирования сварного шва

Для контроля амплитуды механических колебаний излучающей поверхности колебательной системы использовалась ее прямая связь с амплитудой тока [17], протекающего через пьезокерамические элементы ультразвукового преобразователя колебательной системы, при условии устранения влияния реактивной составляющей этого тока, обусловленной собственной

электрической емкостью пьезоэлементов [18]. На рисунке 1 представлена типичная зависимость амплитуды тока, протекающего через пьезокерамические элементы ультразвукового излучателя в процессе формирования герметизирующего шва.

Кривые, представленные на рисунке, были получены в ходе сварки двух деталей при постоянном статическом давлении на колебательную систему. Пунктирная кривая получена при отсутствии в зоне ультразвукового воздействия свариваемых материалов (излучение в воздух). Из представленных на рисунке зависимостей видно, что при отсутствии процесса сварки значение тока I равно I_{xc} сохраняется на протяжении всего времени ультразвукового воздействия t_3 . Сплошные кривые иллюстрируют изменение величины тока (и соответственно амплитуды механических колебаний), протекающего через пьезокерамические элементы излучателя во время сварки двух полимерных материалов между собой. Такое изменение тока в процессе формирования шва связано с изменяющимися свойствами материала в зоне сварки (размягчение материала, переход в вязкопластичное и далее в вязкотекучее состояние).

Точка А (смотри кривую 1) соответствует началу ультразвукового воздействия. Величина тока I_1 в точке А меньше величины тока I_{xc} , что связано с начальными демпфированием ультразвуковой колебательной системы прижатом к ней материалом. Чем больше сила начального статического давления на свариваемый материал, тем меньше начальный ток сварки. Уменьшение тока на участке АВ обусловлено размягчением полимерного материала, улучшением акустического контакта излучающей поверхности колебательной системы с ним и, как следствие, снижением добротности ультразвуковой системы. Уменьшение тока продолжается до значения I_2 (точка В), что соответствует моменту максимального демпфирования излучателя.

Участок ВС соответствует переходу материала из вязкопластичного в вязкотекучее состояние. Излишки расплавленного материала начинают выдавливаться из зоны сварки, что изменяет (уменьшает) статическое давление на колебательную систему и увеличивает его добротность. Именно на этом участке лежит точка соответствующая оптимальному качеству шва. Многочисленные исследования и тестирования качества различных швов показали, что прочность материала шва в точке А' соответствует максимальной прочности герметизирующего шва. Значение тока в точке А' равно величине тока I_1 , то есть равно величине тока при начальном ультразвуковом воздействии (точка А).

Уменьшение толщины свариваемых материалов приводит к уменьшению провала на кривой, (смотри

кривую 2, рис.1), уменьшается время формирования шва t_2' , качество шва при этом сохраняется.

Как было показано выше, величина статического давления на излучающую поверхность колебательной системы, влияет на степень демпфирования. Поэтому, при исследовании режима сварки с использованием возможного режима сварки (смотри рис.2), при котором статическое давление может быть различным, а также меняться во время сварки, зависимость тока во время формирования шва имеет совершенно другой вид.

На рисунке 2 представлены несколько зависимостей тока, протекающего через пьезокерамические элементы колебательной системы при сварке одинаковых по толщине материалов при изменяющемся статическом давлении на свариваемый материал.

Из представленных зависимостей следует, что, при сварке одинаковых по толщине материалов, кривые тока могут существенно отличаться друг от друга. Это связано, прежде всего, с различной силой статического давления на свариваемые материалы, как в начальный момент, так и на протяжении всего времени сварки. Нестабильность статического давления может породить появление дополнительных амплитудных модуляций (смотри рисунок кривые 1 и 2), а в некоторых случаях, при чрезмерном статическом давлении, процесс может характеризоваться зависимостью, представленной кривой 3.

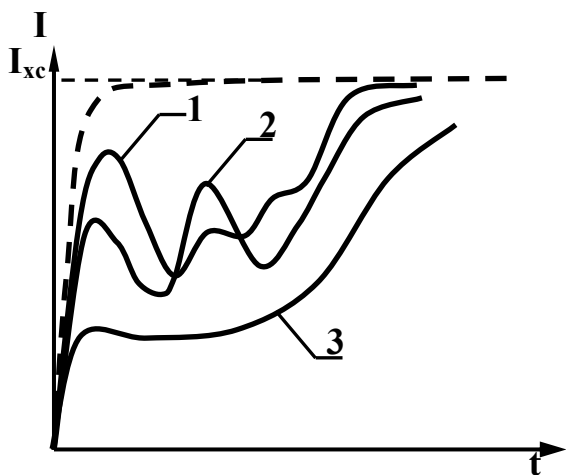


Рисунок 2 - Зависимость амплитуды тока, протекающего через пьезокерамические элементы ультразвуковой колебательной системы в процессе формирования герметизирующего шва при изменяющейся величине статического давления.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод, что для систем ультразвуковой сварки, где статическое давление, сжимающее свариваемые материалы, нестабильно, использование критерия

качественной сварки, который был определен для сварочных систем со стационарным статическим давлением сжатия, недопустимо (смотри кривые 2 и 3).

Таким образом, необходимо исключить влияние нестабильности статического давления при сварке и искажения кривых тока при реализации автоматического выбора режимов ультразвуковой сварки и оптимального ультразвукового воздействия ультразвуковой энергии на термопластичный материал.

Необходимо предложить и практически реализовать новый способ автоматического определения оптимальных режимов ультразвуковой сварки при влиянии нестабильности статического давления. Для практической реализации способа необходимо предложить схему измерения электрических параметров, учитывающих влияние изменяющихся свойств термопластичных материалов в процессе ультразвуковой сварки. Практически реализовать схему автоматического управления процессом ультразвуковой сварки для определения оптимальных режимов ультразвуковой сварки и повышения качества сварного соединения в разрабатываемом оборудовании, для решения различных технологических задач.

Способ автоматического определения необходимой энергии ультразвуковых колебаний определяет схему управления процессом ультразвуковой сварки, состоящую из устройств, осуществляющих измерение электрических параметров, учитывающих изменение свойств, свариваемых материалов. Затем осуществляется дозирование ультразвуковой энергии в зависимости от изменяющихся свойств, свариваемых материалов, регулирование амплитуды ультразвуковых колебаний, поглощаемых в зоне сварки, включение и выключение ультразвуковых колебаний в необходимый момент времени.

IV ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ.

При управлении процессом ультразвуковой сварки необходимо контролировать изменяющееся во времени волновое сопротивление свариваемых материалов (среды).

Для измерения волнового сопротивления свариваемых материалов необходимо проводить измерение электрических параметров напряжения и тока ультразвуковой колебательной системы, используемой для ультразвуковой сварки термопластичных материалов. Таким образом, сама УЗКС выступает в качестве датчика изменяющихся в процессе сварки параметров термопластичных материалов.

В качестве схемы измерения электрических параметров была принята разработанная авторами схема управления ультразвуковым процессом [18].

Для пояснения процесса измерения волнового сопротивления проанализируем физическую

эквивалентную схему ультразвуковой колебательной системы на основе пьезоэлектрических элементов, показанную на рисунке 3а.

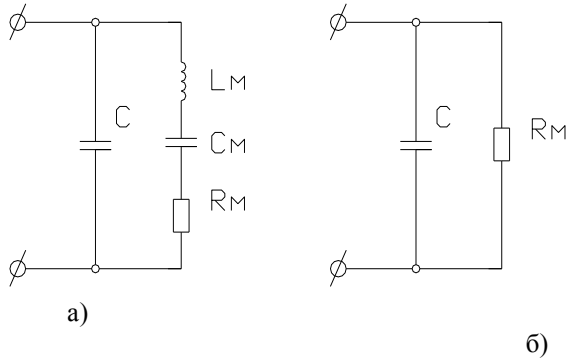


Рисунок 3 – Физическая эквивалентная схема ультразвуковой колебательной системы

Ветвь, содержащая последовательно установленные катушку с индуктивностью L_m , конденсатор с электрической емкостью C_m и резистор с номинальным сопротивлением R_m , является эквивалентной электрической схемой механической колебательной системы. Элементы L_m и C_m имитируют массу и упругость материала колебательной системы, соответственно. Элемент (резистор) с номинальным сопротивлением R_m характеризует потери энергии в материале колебательной системы и сопротивление излучению УЗ колебаний в обрабатываемую среду. Сопротивление R_m пропорционально волновому сопротивлению среды с коэффициентом пропорциональности M . Коэффициент пропорциональности зависит от конструкции колебательной системы (коэффициента усиления) и площади излучающей поверхности. Элемент (конденсатор с электрической емкостью) C_k соответствует собственной электрической емкости пьезоэлектрических элементов, входящих в состав пьезоэлектрического преобразователя.

В общем случае волновое сопротивление среды состоит из двух составляющих - действительной и мнимой частей. Действительная часть характеризует амплитуду ультразвуковых колебаний и в рассматриваемом способе является информативным параметром. Мнимая часть характеризует изменения резонансной частоты электроакустического преобразователя и в модели колебательной системе может быть представлена в виде «добавок» к номинальным значениям элементов L_m и C_m .

Работа колебательной системы имеет смысл только при соответствии рабочей частоты генератора собственной механической частоте колебательной системы, т.е. на собственной частоте колебательного контура, состоящего из элементов L_m и C_m , их сопротивление уменьшается до нуля. Для исключения влияния мнимой части волнового сопротивления среды необходимо наличие системы автоматической

подстройки частоты, обеспечивающей постоянную работу системы на частоте механического резонанса. Следовательно, эквивалентная схема колебательной системы может быть представлена в виде, показанном на рисунке 3б.

Из эквивалентной схемы на рисунке 3б следует, что, на частоте механического резонанса колебательной системы возможно измерять только действительную часть волнового сопротивления и для этого необходимо измерять ток, протекающий через сопротивление излучению колебательной системы R_m , и регистрировать падение напряжения на нем. Так как необходимо контролировать зависимость изменения волнового сопротивления среды от напряжения питания колебательной системы, а не измерять его точное численное значение, то нет необходимости в определении коэффициента пропорциональности M для установления точного соотношения между сопротивлением излучению и волновым сопротивлением среды.

Измерение выбранного параметра - волнового сопротивления среды, осуществляется при помощи устройства включающего в себя дифференциальный усилитель, обеспечивающий выделение сигнала, АЧХ которого соответствует АЧХ тока в механической ветви (L_m , C_m , R_m) и трансформатор напряжения при помощи которого измеряется напряжение на колебательной системе.

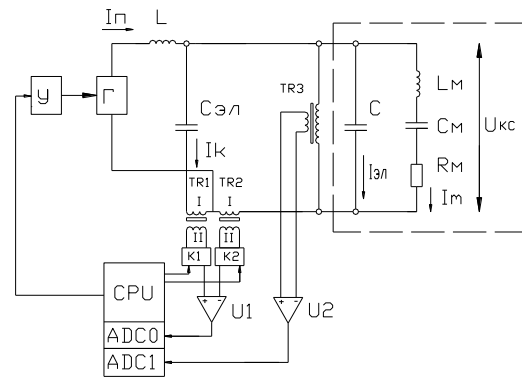


Рисунок 4 – Блок схема устройства измерения волнового сопротивления среды.

На рисунке 4 представлена блок схема устройства измерения волнового сопротивления среды, с возможностью компенсации изменения электрической емкости C_k .

Представленная схема состоит из двух блоков: блока измерения амплитудного значения тока, протекающего в механической ветви L_m , C_m , R_m , и блока измерения амплитуды напряжения на колебательной системе.

На основе полученных данных от блока измерения амплитудного значения тока и блока измерения амплитудного значения напряжения на колебательной системе блок микропроцессора CPU рассчитывает значение волнового сопротивления среды и вырабатывает соответствующее управляющее

прямоугольный сигнал ультразвуковой частоты, который поступает, с одной стороны, на вход транзисторного полумостового инвертора 3, а с другой стороны, поступает на один из входов фазового компаратора 1. С выхода инвертора 3 прямоугольный сигнал ультразвуковой частоты с амплитудой, задаваемой регулятором напряжения 5 и лежащей пределах 0...300В, поступает на согласующий LC-фильтр 4, который выделяет из прямоугольного сигнала первую гармонику и согласует выходной импеданс инвертора 3 с входным импедансом преобразователя 13. Узел 6, при помощи дифференциальной схемы (представленной на рис. 6), выделяет сигнал, который несет в себе информацию об амплитуде тока в механической ветви преобразователя 13. Этот сигнал поступает на дискриминаторы 8 и 9. На выходе дискриминатора 8 появляется прямоугольный цифровой сигнал с той же фазой и частотой, что и ток, протекающий в механической ветви преобразователя 13, который поступает на второй вход фазового компаратора 1. На выходе дискриминатора 8 появляется сигнал, прямо пропорциональный амплитуде тока, протекающего в механической ветви преобразователя, который поступает на один из входов узла вычисления волнового сопротивления среды 11. Узел 7 при помощи трансформатора напряжения (представленного на схеме на рис. 6) выделяет сигнал, который несет в себе информацию о напряжении на электродах пьезоэлементов колебательной системы. Этот сигнал поступает на дискриминатор 10, на выходе которого появляется сигнал, прямо пропорциональный амплитуде напряжения на колебательной системе. Этот сигнал поступает на другой вход узла вычисления волнового сопротивления среды 11. Вычисленное значение волнового сопротивления среды в цифровом виде поступает на вход схемы управления 12. При помощи системы управления 12 происходит управление аппаратом в целом: включение и выключение, управление регулятором напряжения 5, калибровка дифференциальной схемы 6. Схема управления 12 вырабатывает сигнал рассогласования, который определяется разностью между полученным значением волнового сопротивления и его предыдущим значением и поступает на регулятор напряжения 5, питающий инвертор 3. При равенстве полученного значения волнового сопротивления и его предыдущего значения, регулятор напряжения 5 фиксирует на своем выходе текущее напряжение.

В результате разработки предложен новый способ управления процессом ультразвуковой сварки термопластичных материалов, основанный на измерении напряжения и тока, протекающего через ультразвуковую колебательную систему, измерении изменяющегося во времени волнового сопротивления свариваемых материалов под действием ультразвуковых колебаний. В ходе проведенных исследований были решены следующие частные задачи:

1. Определены основные электрические параметры ультразвуковой колебательной системы, учитывающие изменение свойств, свариваемых полимерных материалов в процессе сварки при влиянии внешних дестабилизирующих факторов.

2. Практически реализована электрическая схема измерения электрических параметров ультразвуковой колебательной системы в процессе ультразвуковой сварки.

3. Проведены измерения и исследовано влияние свойств, свариваемых материалов и дестабилизирующих факторов на электрические параметры ультразвуковой колебательной системы.

4. Разработан новый способ управления процессом сварки, учитывающий влияние меняющихся свойств свариваемых материалов и дестабилизирующих факторов в процессе ультразвуковой сварки.

Как следует из рассмотренных особенностей реализации ультразвуковой сварки с предложенным способом автоматического определения оптимальных режимов, в ходе сварки необходимо осуществлять непрерывный контроль тока, протекающего через пьезоэлектрические элементы колебательной системы, при условии обеспечения резонансного режима работы колебательной системы и исключения влияния нестабильности статического давления при сварке.

Существующие колебательные системы не всегда способны удовлетворять такому требованию и поэтому возникла необходимость в разработке и применении специальных пьезоэлектрических колебательных систем.

VI ПОЛУВОЛНОВЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЗ СВАРКИ.

Для практической реализации процесса ультразвуковой сварки, основанной на применении предложенного способа автоматического управления необходимы специальные пьезоэлектрические колебательные системы. Отличительная особенность таких систем должна заключаться в том, что их собственная резонансная частота при изменении акустической нагрузки, обусловленной как изменением свойств соединяемых материалов, так и величиной статического давления на излучающую поверхность, должна изменяться пропорционально величине внешнего воздействия.

На практике, уже более 100 лет, колебательные системы выполняются на основе полуволнового электромеханического преобразователя (преобразователь Ланжевена типа «сэндвич» с четным количеством пьезокерамических элементов) и полуволнового концентратора, присоединяемого к нему посредством резьбового соединения. Каждая составляющая колебательной системы: пьезоэлектрический преобразователь и концентратор характеризуются своей собственной частотой механического резонанса. Для обеспечения максимальной амплитуды колебаний

излучающей поверхности колебательной системы в процессе ее изготовления обеспечивают совпадение резонансных частот преобразователя и концентратора. Технологически осуществить это сложно и при изготовлении каждой колебательной системы осуществляется индивидуальная настройка соответствия резонансных частот путем изменения геометрических размеров преобразователя или концентратора.

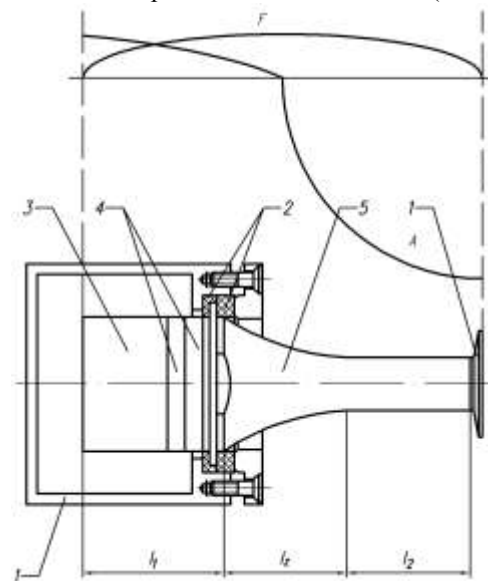
Но, в процессе сварки, внешние воздействия всегда нарушают это соответствие (частота концентратора за счет демпфирования свариваемым материалом уменьшается) и собственная резонансная частота всей колебательной системы изменяется сложным образом (в зависимости от резонансных характеристик преобразователя и концентратора). Поэтому в процессе изготовления колебательной системы осуществляют предварительную расстройку преобразователя и концентратора, индивидуальную для каждого процесса. Но и это не позволяет обеспечить работу колебательной системы в номинальном режиме, так как в процессе сварки степень демпфирования зависит от множества влияющих факторов (начиная от величины статического давления до скорости перехода материала в вязкопластичное состояние). Обеспечить автоматизированное управление работой УЗ оборудования в процессе сварки в этом случае невозможно. Поэтому, управление работой УЗ оборудования осуществляется вручную по косвенным признакам.

Для устранения выявленных недостатков существующих колебательных систем предложены и разработаны колебательные системы, построенные по конструктивной полуволновой схеме, в которой удалось совместить преобразователь и концентратор.

Разработанные УЗ колебательные системы имеет одну рабочую частоту и ее изменение обусловлено двумя факторами – статическим, т.е. медленно меняющимися и динамическими, т.е. быстро меняющимися. Системы, построенные по такой конструктивной схеме, оказалась столь эффективными, что обеспечили повышение электромеханического КПД более чем в два раза, т.е. позволили увеличить выход ультразвуковой энергии.

Конструктивно ультразвуковая колебательная система выполнена в виде тела вращения, состоящего из двух металлических накладок и двух пьезоэлектрических элементов. Образующая тела вращения имеет вид непрерывной кусочно-гладкой кривой, состоящих из трех основных участков: двух цилиндрических (длиной l_1 и l_2) и

одного переменного сечения (длиной l_3) [7].



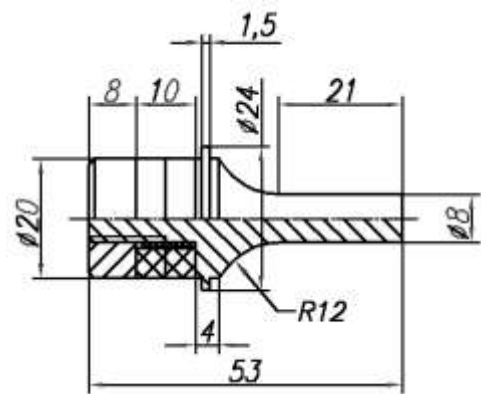
а)



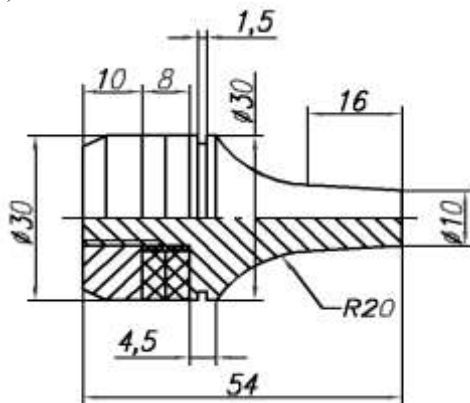
б)

Рисунок 7. – Пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система: а – конструктивная схема, б – внешний вид.

Пьезоэлектрические элементы расположены между участком переменного сечения и торцом отражающей накладки. Созданная колебательная система схематично показана на рисунке 7 а, внешний вид приведен на рисунке 7 б. На рисунке показано распределение амплитуд A и механических напряжений F вдоль образующей. Пучностям смещений приблизительно соответствуют узлы механических напряжений, и наоборот, т.е. распределение смещений и напряжений имеет вид стоячих волн.



a)



б)



в)

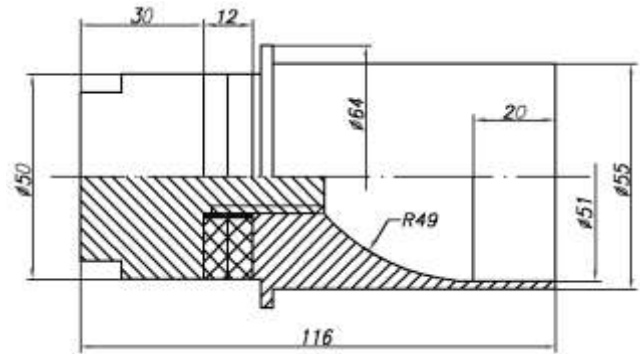
Рисунок 8 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗКС для сварки термопластичных материалов: а – ручной вариант запаивателя, б – стационарный вариант запаивателя, в – внешний вид колебательной системы.

На основе базовой полуволновой конструктивной схемы разработаны:

- колебательные системы для сварки термопластичных материалов (полимерная трубка

систем хранения компонентов крови) для применения в ручных и стационарных запаивателях (рисунок 8).

Коэффициент усиления M_p таких систем равен 8-10. Собственная резонансная частота - $44 \pm 3,33$ кГц. Амплитуда колебаний на излучающей поверхности 15-25 мкм;



a)



б)

Рисунок 9 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗ колебательная система для кольцевой сварки термопластичных материалов: а – конструкция, б – внешний вид.

колебательные системы для сварки термопластичных материалов путем выполнения замкнутого кольцевого шва, представленные на рисунке 9.

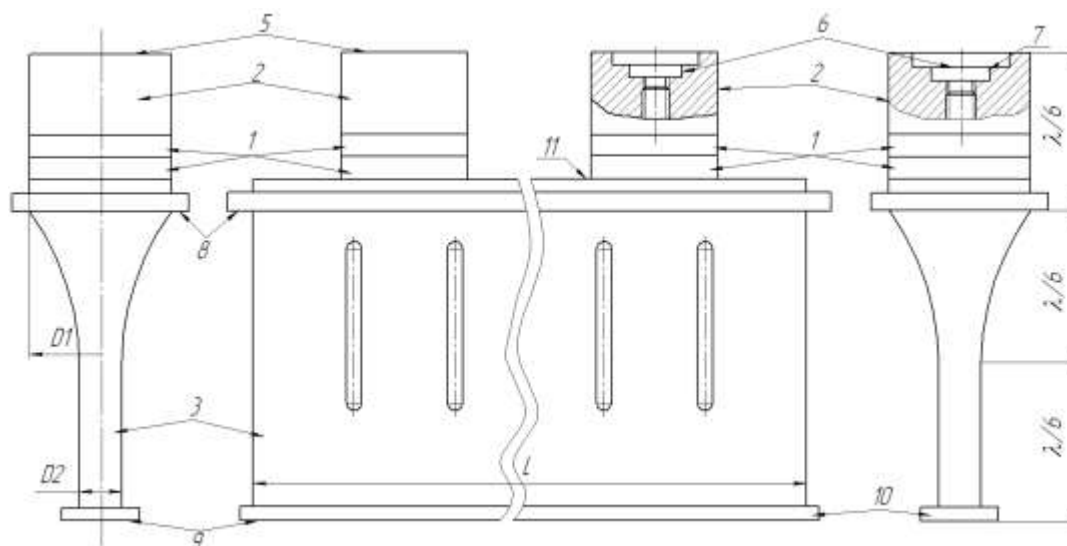


Рисунок 10 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗ колебательная система для выполнения протяженного шва.

Коэффициент усиления M_p равен 15. Собственная резонансная частота системы $44 \pm 3,33$ кГц. Амплитуда колебаний на излучающей поверхности 25-30 мкм;

- колебательная система для сварки термопластичных материалов путем выполнения протяженного шва заданной ширины при прессово – шовной сварке, представленные на рисунке 10.

Развитие технологий ультразвуковой сварки пластичных полимерных материалов велось в четырех основных направлениях, обусловленных основными потребностями современных производств: герметизация полимерных трубок, формирование непрерывных швов, формирование швов большой ширины (свыше 300 мм) и формирование кольцевых швов [8].

VI. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБОК.

Развитие технологии запаивания полимерных трубок было обусловлено необходимостью надежной герметизации пластиковых трансфузионных систем. Ранее, для герметизации использовались диэлектрические запаиватели (типа Nematron 2, Biosealer CR2 и подобные), действие которых основано на нагреве участка трубки токами высокой частоты [9,10,11]. Малая ширина шва (2 мм), высокая энергоемкость процесса (более 200 Вт), разложение материала под действием температуры, приводящее к загрязнению крови токсичными веществами (хлором), снижение прочности шва при наличии на поверхности вязких и жировых пленок, не позволяли считать проблему герметизации трансфузионных систем решенной. Эти недостатки были устранены в предложенном авторами способе ультразвуковой сварки [12].

Для реализации предложенного способа, впервые в мировой практике создана серия стационарных и переносных ультразвуковых запаивателей (рисунок 11 и 12).



Рисунок 11 – Ультразвуковой запаиватель пластиковых контейнеров с компонентами крови, модель ЗУЗ-0,1/44-М1



Рисунок 12 – Ультразвуковая система для стерильного запаивания и сегментации трансфузионных систем.

Конструктивно ультразвуковой запаиватель состоит из электронного генератора и механического блока. В состав механического блока входят колебательная система и узел сжатия трубки. В зависимости от типа запаивателя

механический блок может быть встроенным в корпус или выносным. Привод узла сжатия трубки выполняется электромагнитным, для выносного запаивателя – ручным [13,14].

Созданные запаиватели позволили осуществлять сварку и сегментацию трубок различного диаметра. При этом 8 мм ширина шва позволила герметизировать удаляемый сегмент трубки, что исключает попадание крови на оборудование и повышает безопасность работы медицинского персонала.

VII. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕССОВОЙ ШОВНО-ШАГОВОЙ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Рост популярности упаковки продуктов в герметичные одноразовые пакеты из полимерных пленок обусловил существенный прогресс в области создания упаковочных машин. Герметизация упаковочного пакета – наиболее ответственная операция, определяющая качество и сохранность упакованных продуктов. В настоящее время герметизацию осуществляют термической сваркой, имеющей ряд недостатков: деструкция полимера под воздействием высоких температур, значительное время прогрева пленок толщиной более 100 мкм, невозможность герметизации пакетов с термонеустойчивыми, легковоспламеняющимися и взрывчатыми веществами. Кроме того, в процессе загрузки сыпучих и жидких продуктов в упаковочный материал из дозирующего устройства часто происходит загрязнение соединяемых поверхностей. Это отрицательно влияет на качество и герметичность сварного соединения упаковки.

Наиболее эффективным способом решения указанных проблем является применение высокоскоростной прессовой шовно-шаговой ультразвуковой сварки термопластических полимерных материалов [15,16].



Рисунок 13 – Ультразвуковой аппарат для шовно-шаговой сварки термопластов.

Для реализации высокоскоростной прессовой шовно-шаговой ультразвуковой сварки была разработаны

специализированные аппараты, представленные на рисунках 9 и 10.

Аппарат для ультразвуковой сварки (рисунок 13) предназначен для встраивания в различные упаковочные машины и позволяет герметизировать пакеты шириной до 350 мм при наличии на внутренней поверхности пленки различных загрязнений.

Для осуществления прессовой шовно-шаговой сварки герметизирующим швом шириной 5 мм и протяженностью 150 мм полимерных термопластических упаковочных материалов за время, от 0,5 до 1 секунды был разработан и изготовлен ультразвуковой аппарат «Гиминей-ультра-3» модель КУС 1/22-О (Рисунок 14).

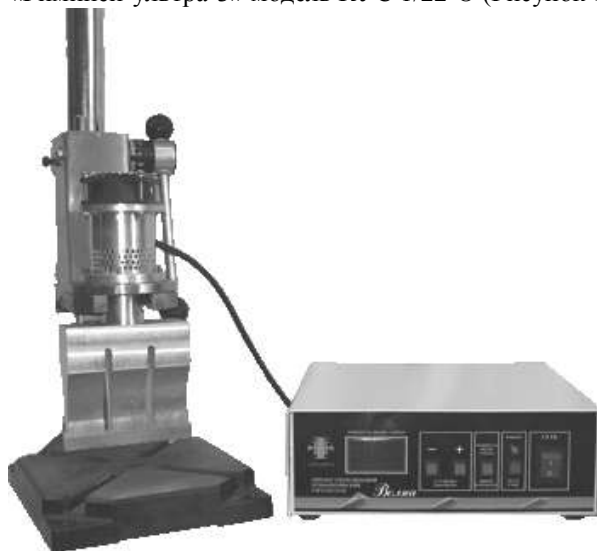


Рисунок 14– Аппарат «Гиминей-ультра-3»

В настоящее время нашли широкое применение различные красящие ленты, используемые в качестве расходных материалов для ударных матричных принтеров, кассовых аппаратов и печатных машин.



Рисунок 15 – Оборудование для полуавтоматической сварки и резки красящих нейлоновых лент.

При эксплуатации красящих лент возможно возникновение обрыва ленты на сварном соединении. Существующие сегодня требования по надежности и прочности расходных материалов при формировании копий документов в офисных и банковских системах строгого учета требуют получения качественного сварного соединения красящих лент в процессе производства расходных материалов.

Для решения этой задачи было разработано специализированное полуавтоматическое ультразвуковое оборудование, представленное на рисунке 15. В результате разработки и изготовления была усовершенствована технология ультразвуковой сварки красящих лент, которая позволила производить качественную полуавтоматическую сварку и резку, различных типов красящих нейлоновых лент.

VIII. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЬЦЕВОЙ СВАРКИ.

Развитие технологии ультразвуковой сварки изделий из термопластичных материалов кольцевым швом обусловлено необходимостью создания надежной системы герметизации сменных фильтрующих картриджей для очистки воды, производство которых в настоящее время активно разворачивается в нашей стране.

В технологиях зарубежных производителей (например, немецкой фирмы «Бритта») для этих целей используется способ сварки трением, при котором быстровращающаяся крышка вводится в соприкосновение с неподвижным стаканом. Реализация сварки трением требует сложного дорогостоящего оборудования, усложняет конструкцию картриджа и предъявляет повышенные требования к точности изготовления пластиковых деталей, что, удорожает готовый картридж.

Для реализации автоматической сварки разработано специализированное оборудование, представленное на рисунке 16 [8,19].



Рисунок 16 – Автоматизированная линия «Аквариус» производства картриджей для очистки воды.

IX. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СВАРКИ ПРОТЯЖЕННЫХ ШВОВ И ШВОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ.

Для решения различных производственных задач, когда невозможно применить рассмотренное оборудование была создана технология и оборудование ультразвуковой непрерывной сварки.

Для реализации такой технологии созданы специализированные ультразвуковые технологические аппараты, представленные на рисунках 17,18 и 19.



Рисунок 17 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гиминей-ультра».



Рисунок 18 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гиминей-ультра 2»

Назначение: соединение конструкционных изделий и листовых материалов методом низкотемпературной ультразвуковой сварки. Сменные инструменты позволяют при сварке получать швы различной ширины и формы.



Рисунок 19 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гиминей-ультра 4»

Х. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований и разработок выявлены пути развития метода ультразвуковой сварки термопластичных материалов, предложен новый способ управления процессом сварки, учитывающий влияние изменяющихся свойств свариваемых материалов и дестабилизирующих факторов в процессе ультразвуковой сварки.

На основе полученных научных результатов созданы и внедрены в практику промышленного применения специализированные ультразвуковые сварочные аппараты для решения различных технологических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком, М., Химия.
2. Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. Л., «Машиностроение», 1988.
3. А.с. СССР №1627413 Способ регулирования ультразвуковой сварки.
4. А.с. СССР №1315341 Способ регулирования ультразвуковой сварки.
5. А.с. СССР №550225 Устройство дозировки энергии при ультразвуковой сварке.
6. А.с. СССР №719835 Способ управления процессом ультразвуковой сварки.
7. Теумин И. И. Коэффициент полезного действия ультразвуковых концентраторов // Акустический журнал.- 1963.- Т.9, №2.-С.205-208.
8. Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин, В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, А.В.Шалунов, И.И. Савин, С.В. Левин, М.В. Хмелев, 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
9. HEMATRON 11. Baxter Healthcare Corporation. Техническое описание. 1992 г.
10. BIOSEALER CR2. Baxter Healthcare Corporation. Техническое описание. 1995 г.
11. BIOSEALER CR3. Baxter Healthcare Corporation. Техническое описание. 1995 г.
12. Пат. 2171669 Российская Федерация, МПК 7 А 61 J 1/05. Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н.; заявитель и патентообладатель Бийский технологический институт АлтГТУ. - №99114203/14; заявл. 29.06.99; опубл. 10.08.01, Бюл. №22. – 7с.: ил.
13. Khmelev V.N., Savin I.I., Barsukov R.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N., Chipurin E.V., "Development of Compact Multipurpose Ultrasonic Technological Device", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 217-221
14. Пат. 2267316 Российская Федерация, МПК 7 А 61 J 1/05. Устройство ультразвуковой герметизации и сегментации трансфузионных систем / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Хмелев М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2004116746/14; заявл. 01.06.04; опубл. 10.01.06, Бюл. № 1 – 7 с.: ил.
15. Патент РФ по заявке № 2004135854 Способ герметизации пластиковых пакетов при упаковке сыпучих и жидких продуктов
16. М.Е. Чернов. Упаковка сыпучих продуктов. М, ДЕЛИ, 2000.
17. Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК 7 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.
18. Пат. 2247544 Российская Федерация, МПК 7 А 61 В 18/00. Способ управления процессом ультразвуковой липосакции / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2003117268/14; заявл. 09.06.03; опубл. 10.03.05, Бюл. №7. – 8с.: ил.
19. Пат. 2241599 Российская Федерация, МПК 7 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.