

Измерение Параметров Ультразвуковой Колебательной Системы в Процессе Сварки Термопластов

Алексей Н. Сливин, Алексей Д. Абрамов, Денис С. Абраменко

Аннотация – В статье проанализированы основные проблемы, препятствующие развитию систем автоматического управления процессом ультразвуковой (УЗ) сварки, проведены измерения электрических параметров ультразвуковой колебательной системы в процессе сварки термопластов, направленные на поиск путей повышения прочности сварного соединения.

I. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях производства УЗ сварка позволяет решать многие проблемы, связанные с обеспечением надежного соединения любых термопластичных материалов. УЗ сварка, в большинстве случаев на практике успешно заменила термические, высокочастотные, фрикционные и другие известные способы сварки [1].

Широкое распространение УЗ сварки объясняется тем, что при выборе оптимальной технологии и необходимого оборудования разработчики и технологи основываются на широко известных достоинствах и преимуществах УЗ сварки [5]:

1. Возможность осуществлять сварку при температурах меньших температуры плавления свариваемых термопластичных материалов;
2. Высокая надежность сварного соединения;
3. Возможность осуществлять сварку без предварительной очистки свариваемых поверхностей от различных загрязнений;
4. Исключение перегрева свариваемых термопластичных материалов, вследствие локального выделения теплоты в зоне сварки;
5. получение сварного соединения термопластичных материалов при сварке на большом удалении от точки ввода энергии, что позволяет выполнять соединения в труднодоступных местах;
6. Отсутствие вспомогательных клеевых компонентов;
7. Стойкость сварного соединения к растворителям и др.

Перечисленные преимущества УЗ сварки привели к тому, что при создании новых материалов и изделий уже не возникает вопроса о выборе способа их сварки. Однако, существует ряд проблем, которые связаны с

автоматизацией процесса УЗ сварки. При этом главной проблемой является определение временного интервала УЗ воздействия, необходимого для формирования сварного соединения в термопластичных полимерных материалах.

Основной задачей в настоящее время является усовершенствование автоматических способов сварки и повышение качества сварного соединения изделий из термопластичных полимерных материалов.

II. Постановка Задач Исследований

В процессе УЗ сварки изменяются свойства термопластичных материалов (происходит размягчение и переход в вязко-пластичное состояние) в результате поглощения энергии УЗ колебаний. Это приводит к уменьшению сварочного усилия, разогреву КС, что вызывает уменьшение ее добротности и рассогласованию колебательного контура. Как следствие, происходит, изменение резонансной частоты и изменение амплитуды колебаний ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) [1,4].

В результате этих дестабилизирующих факторов стабильность технологического процесса УЗ сварки и получение качественного сварного соединения приобретает особое значение.

Для получения качественного сварного соединения термопластичных материалов при УЗ сварке обычно производится изменение следующих параметров: амплитуды колебаний излучающей поверхности УЗКС, величины сварочного усилия и продолжительности УЗ воздействия. Варьирование последним параметром получило наиболее широкое распространение.

При автоматизированной УЗ сварке ограничение времени УЗ воздействия осуществляется следующими способами:

1. Способ «по фиксированному времени» предполагает использование УЗ воздействия постоянной продолжительности при сварке однотипных изделий. Продолжительность УЗ воздействия определяется из предварительных экспериментов и задается на всех сварочных циклах одинаковой, обычно с помощью электронного реле времени [1].

2. Способ «по фиксированной осадке», при которой сохраняется постоянной величина углубления УЗКС в свариваемую деталь, или деформация зоны сварки. При достижении заданной деформации происходит автоматическое прекращение УЗ воздействия и ограничение перемещения УЗКС. Продолжительность времени сварки при этом способе в каждом отдельном случае может быть различна [8,11,14].

3. Способ «по кинетической характеристике» при котором устанавливается взаимосвязь между амплитудой колебаний рабочего торца УЗКС и изменением свойств термопластичных материалов в результате поглощения энергии УЗ колебаний [9, 10, 12, 13]. Продолжительность УЗ воздействия продолжается до момента равенства напряжений и токов протекающих через УЗКС с эталонной величиной, определенной опытным путем.

При использовании схемы сварки «по фиксированному времени» вероятность появления некачественного сварного соединения определяется следующими параметрами:

1. Нестабильностью резонансной частоты и амплитуды колебаний УЗКС;
2. Отклонением исходной толщины свариваемых материалов от оптимальной;
3. Нестабильностью условий сварки (температура волновода и величина сварочного усилия).
4. Загрязненностью свариваемых поверхностей.

Небольшие изменения параметров режима сварки, геометрии деталей и свойств материалов могут привести к тому, что требуемое время сварки окажется больше или меньше времени, установленного реле. Как следствие в первом случае будут наблюдаться непровары, во втором — пережоги. Именно этим объясняется наблюдаемая на практике нестабильность результатов, получаемых при сварке по фиксированному времени. Повышения качества в этом случае стремятся достигнуть за счет поддержания постоянства параметров режима сварки, однако это значительно усложняет конструкцию оборудования.

В отличие от схемы сварки «по фиксированному времени», при которой выбор продолжительности времени сварки совершенно не связан с образованием сварного соединения, схема сварки «по фиксированной осадке» частично связана с кинетикой образования сварного соединения. В этом случае вероятность появления некачественного сварного соединения определяется нестабильностью исходной толщины свариваемых материалов.

Использование схемы сварки «по фиксированной осадке» предполагает определенную деформацию зоны шва, что иногда бывает недопустимо вследствие ухудшения товарного вида изделия. Основными недостатками способов управления процессом ультразвуковой сварки по фиксированной осадке [8,11,14] является необходимость перенастройки

оборудования для получения сварных соединений различных по свойствам и толщине материалов, а также наличие различных концевых и оптических датчиков, датчиков ограничения хода.

При УЗ сварке с дозированием энергии по кинетической характеристике используется информация о физико-механическом состоянии свариваемых материалов [1]. В процессе УЗ сварки происходит размягчение и переход материала в пластичное состояние, изменяется величина статического давления сжатия. В результате чего изменяется площадь контакта свариваемого материала и сварочного инструмента УЗКС. Происходит изменение амплитуды колебаний КС и как следствие изменение тока, напряжения, фазового угла между ними, мощности, потребляемой УЗКС в процессе сварки. Известны работы авторов [6,7,9,10,12], связанные с измерениями на электрической стороне генератора напряжений и токов протекающих через УЗКС, соответствующих скорости или амплитуде УЗ колебаний в материале, знаку ускорения деформирования [8,11,14] материала под волноводом и высокочастотной энергии [12], потребляемой УЗКС. В указанных способах измерение сигнала, пропорционального амплитуде колебаний и управление процессом сварки производят путем сравнения сигналов с эталонной величиной. При этом дозирование энергии осуществляют с высокой повторяемостью процесса.

Основными недостатками этих способов управления является то, что предложенный критерий определения перехода материала в пластичное состояние в процессе УЗ сварки не является постоянным. Применение больших статических давлений в процессе УЗ сварки приводят к демпфированию рабочего инструмента УЗКС, снижению амплитуды колебаний и невозможности контроля процесса УЗ сварки. Кроме этого, в процессе сварки происходит нелинейное изменение свойств полимерных материалов, нагрев УЗКС, уменьшение её резонансной частоты и амплитуды колебаний в процессе сварки.

Вследствие того, что ни один из используемых в настоящее время способов управления процессом УЗ сварки в полной мере не учитывает изменение параметров УЗКС, необходимо решить следующие частные задачи:

1. Провести измерения электрических параметров УЗКС в процессе УЗ сварки.
2. Определить влияние, изменяющихся свойств свариваемых материалов на параметры УЗКС.
3. Исследовать влияние сварочного давления на электрические параметры УЗКС.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТОВ

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УЗКС ВО ВРЕМЯ СВАРКИ

При исследовании процесса УЗ сварки использовалась УЗКС для сварки термопластов, работающая на частоте 22 кГц, сварочные образцы из полипропилена толщиной 1,1 мм каждый, сложенные внахлест.

Для измерения электрических параметров УЗКС в процессе УЗ сварки разработан измерительный модуль (ИМ). На рисунке 1 представлена блок-схема модуля для измерения электрических параметров УЗКС.

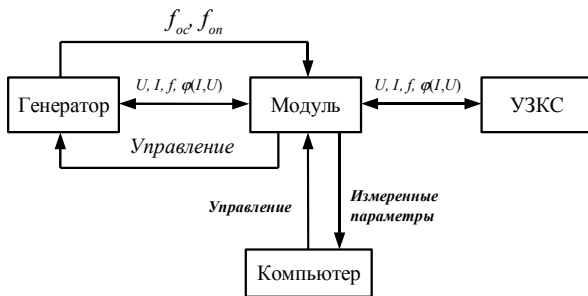


Рисунок 1 – Блок-схема измерения параметров УЗКС

Модуль подключается к диагностическому разъему УЗ генератора, а так же в «разрыв» кабеля питания УЗКС. Такое подключение обеспечивает возможность измерения параметров следующих сигналов:

1. Сигнал опорной частоты с задающего генератора, используемый для задания текущей рабочей частоты УЗКС;
2. Сигнал обратной связи. Первичное преобразование сигнала выполняется внутренней схемой генератора. Этот сигнал используется в системе Автоматической Подстройки Частоты (АПЧ);
3. Напряжение на колебательной системе;
4. Величина тока на колебательной системе.

С помощью этих сигналов можно вычислить следующие параметры УЗКС:

1. Значение напряжения на колебательной системе;
2. Значение силы тока на колебательной системе;
3. Частоту колебаний;
4. Разность фаз напряжения и тока на колебательной системе;
5. Разность фаз между двумя любыми периодическими сигналами (с опорного генератора, обратной связи, тока или напряжения на КС).

Для управления работой измерительного модуля, а так же протоколирования и обработки измеренной информации используется персональный компьютер (ПК). Связь осуществляется посредством протокола RS-232.

В процессе УЗ сварки производилось непрерывное измерение амплитуды тока механической ветви УЗКС I , амплитуды электрического напряжения U , фазового угла

между напряжением и током $\varphi(I, U)$, фазового угла между напряжением на КС и сигналом обратной связи $\varphi(I, Os)$, фазового угла между напряжением и сигналом опорной частоты $\varphi(I, Op)$ (рисунок 2).

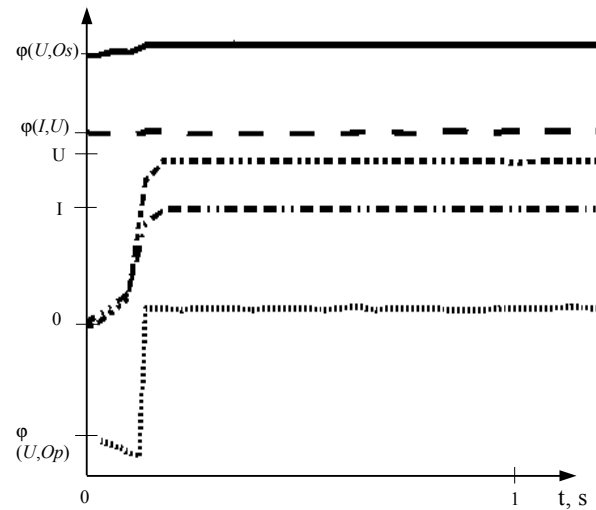


Рисунок 2 – Электрические параметры УЗКС в процессе сварки без учета влияния свойств материалов (излучение в воздух)

На рисунке 2 представлены зависимости электрических параметров УЗКС при отсутствующем материале (излучение в воздух).

Из представленных на рисунке 2 зависимостей видно, что в процессе сварки при отсутствующем материале значение тока I , напряжения U и фазовых углов $\varphi(I, U)$, $\varphi(I, Op)$, $\varphi(I, Os)$ сохраняются постоянными на протяжении всего периода УЗ воздействия. В этом случае параметры УЗКС остаются постоянным, из-за отсутствия влияния на КС, изменяющихся свойств свариваемого материала в процессе сварки.

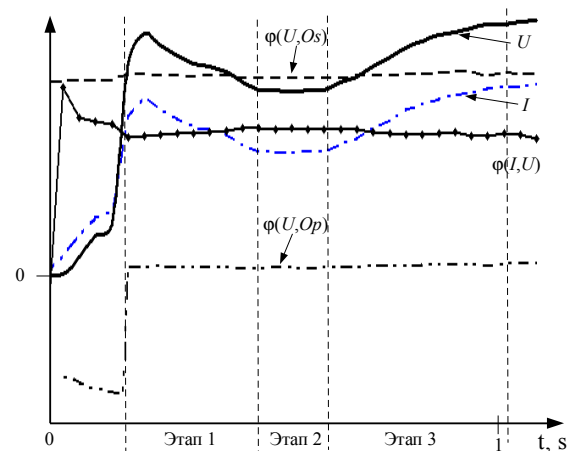


Рисунок 3 – Электрические параметры УЗКС в процессе сварки при постоянном давлении.

Зависимости представленные на рисунке 3 иллюстрируют влияние изменяющихся свойств

свариваемого материала в зоне сварки (размягчение полимерного материала и переход в вязко-пластичное состояние) на электрические параметры КС. Происходит изменение следующих величин: I , U , $\varphi(I,U)$, $\varphi(I,O_s)$ и $\varphi(I,O_p)$.

Из зависимостей представленных на рисунке 3 следует что процесс сварки можно разбить на 3 этапа:

1. Переход свариваемого материала из твердого состояния в вязко-пластичное. На этом этапе происходит уменьшение значения тока I и напряжения U на КС, увеличение фазового угла между напряжением и током $\varphi(I,U)$, а значения фазовых углов $\varphi(I,O_s)$ и $\varphi(I,O_p)$ остаются практически постоянными.

2. Вязко-пластичное состояние. На этом этапе происходит максимальное демпфирование КС. Значения тока I и напряжения U достигают минимального значения, а величина фазового угла между напряжением и током

$\varphi(I,U)$ на КС достигает своего максимального значения.

3. Переход свариваемого материала из вязко-пластичного состояния в вязко-текучее. На этом этапе происходит интенсивное плавление материала в зоне сварки. Излишки расплавленного материала начинают выдавливаться из зоны сварки, что уменьшает сварочное давление на КС. Происходит увеличение значения тока I и напряжения U на КС, уменьшение фазового угла между напряжением и током $\varphi(I,U)$.

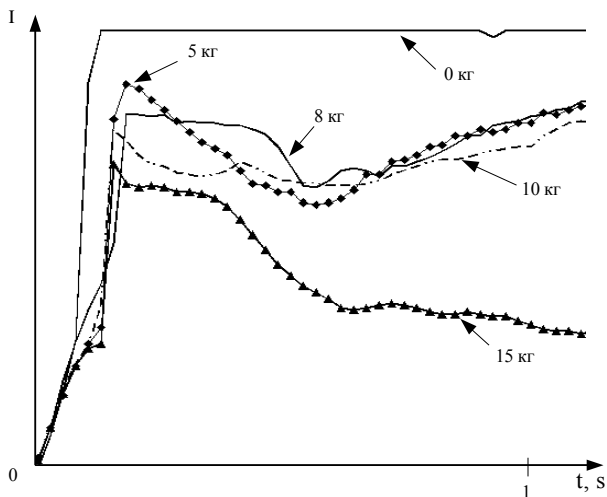


Рисунок 4 — Зависимость амплитуды тока, протекающего через пьезокерамические элементы УЗКС в процессе сварки при различном сварочном давлении

Одним из основных параметров УЗ сварки является сварочное давление.

На рисунке 4 представлены несколько зависимостей тока, протекающего через пьезокерамические элементы КС при сварке одинаковых по толщине образцов из полипропилена при изменяющемся сварочном давлении на материал.

Из представленных зависимостей следует, что, при сварке одинаковых по толщине образцов, кривые тока могут существенно отличаться друг от друга. Это связано, прежде всего, с различной силой сварочного давления на свариваемые материалы, как в начальный момент, так и на протяжении всего процесса сварки.

Проведенные исследования показали, что при влиянии больших сварочных давлений происходит сильное демпфирование УЗКС, вследствие чего не образуется качественного сварного соединения. С другой стороны при малом сварочном давлении также не образуется качественного сварного соединения, вследствие недостаточной энергии доставляемой в зону сварки.

Таким образом, для реализации качественного соединения материалов необходимо исключить влияние нестабильности сварочного давления при УЗ сварке, т.е. исключить искажения кривых тока.

Из полученных результатов следует необходимость поиска оптимального сварочного давления в процессе УЗ сварки.

Дальнейшие работы будут направлены на поиск оптимальных параметров УЗ сварки термопластичных материалов.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были решены следующие частные задачи:

1. Проведены измерения электрических параметров УЗКС в процессе УЗ сварки.
2. Определено влияние, изменяющихся свойств свариваемых материалов на параметры УЗКС
3. Исследовано влияние сварочного давления на электрические параметры УЗКС;
4. Установлены оптимальные режимы для реализации УЗ сварки с максимальным эффектом.
5. Определены критерии автоматического установления оптимальных режимов УЗ сварки различных материалов в различных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. — М., Химия, 1986.—256с.
- [2] Волков С.С., Орлов Ю.Н., Астахова Р.Н. Сварка и склеивание пластмасс. М., «Машиностроение», 1972, 128 с .
- [3] Зайцев К.И., Л.Н. Мацюк. Сварка пластмасс. М., «Машиностроение», 1978.
- [4] Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. Л.: «Машиностроение», 1988.—224 с.
- [5] V.N. Khmelev, A.N.Slavin, R.V.Barsukov, S.N.Tsyganok, I.I.Savin, A.V.Shalunov, S.V.Levin, A.D.Abramov "Development of the New Principle of Batching of Energy at Ultrasonic Welding and Creation of the Equipment for Connection of Thermoplastic Materials", Intrnational Workshops

and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2006: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2006.

№2003117268/14; заявл. 09.06.03; опубл. 10.03.05,
Бюл. №7. – 8с.: ил.

- [6] А.С. 1315341 А1 СССР, В 29 С 65/08. Способ регулирования ультразвуковой сварки термопластичных материалов / Игловиков И.Н., Смирнов А.С., Холопов Ю.Н.; Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт токов высокой частоты им. В.П.Вологодина. и Северо-западный заочный политехнический институт; заявл. 12.06.85; опубл.07.06.87, Бюл. № 21.
- [7] А.С. 1627413 А1 СССР, В 29 С 65/08. Способ регулирования ультразвуковой сварки термопластичных материалов/ Игловиков И.Н., Пчелинцев А.Ю.; Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт токов высокой частоты им. В.П.Вологодина. заявл. 27.07.88; опубл.15.02.91, Бюл. № 6.
- [8] А.С. 176381 СССР, МПК В 29с, В 23р. Устройство для ультразвуковой сварки пластмасс. Автор изобретения Н.В. Дружинин
- [9] А.С. 550255 СССР, УДК 621.791.16.037. Устройство для дозировки энергии при ультразвуковой сварке. Авторы изобретения Г.К. Кишкурно, А.И. Беляков, А.И. Лукашов.
- [10] А.С. 719835 СССР, МПК В 23к 19/04. УДК 621.791.16.037. Способ управления процессом ультразвуковой микросварки. Авторы изобретения А.А. Козич, В.И. Басенко.
- [11] А.С. 753664 СССР, МПК В 29с 27/08. УДК 678.059.4. Устройство для ультразвуковой сварки полимерных материалов. Авторы изобретения Б.Я. Черняк, В.А. Боков, Ф.Е. Ляшко, Г.А. Звездин, А.М. Тизенгаузен.
- [12] А.С. 996140 СССР, МПК В 23к 20/10. УДК 621.791.16. Способ управления процессом ультразвуковой сварки. Автор изобретения А.А. Козич.
- [13] Пат. 2220917 Российская Федерация, МПК В 29с 65/08. Способ ультразвуковой сварки пластмасс/ Ф.Е. Ляшко, О.Ф. Соколова; патентообладатель Ульяновский государственный технический университет.
- [14] Пат. 2229382 Российская Федерация, МПК⁷ В 29 С 65/08. Способ ультразвуковой сварки термопластов/Ляшко Ф.Е., Соколова О.Ф.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». ;заявл. 24.01.2003; опубл.24.01.2003.
- [15] Пат. 2247544 Российская Федерация, МПК⁷ 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». -