

В. Н. Хмелев*, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок,
А. В. Шалунов, И. И. Савин, С. В. Левин

Бийский Технологический институт ГОУ ВПО АлтГТУ, лаборатория акустических процессов и аппаратов, г. Бийск, 659305, Трофимова 27, www.u-sonic.ru

Исследование процесса ультразвуковой сварки при герметизации пищевых продуктов в пакеты из полимерной пленки

Получена 21.05.2005, опубликована 10.06.2005

В статье представлены результаты исследований, направленных на решение проблемы формирования надежного герметизирующего шва при упаковке пылящих и жидких продуктов в пакеты из термопластичных пленок. Необходимость практической реализации метода ультразвуковой сварки для создания герметизирующего шва длиной 360 мм и шириной 12 мм потребовала разработки специализированного оборудования для комплектации упаковочных машин. Разработка электронного генератора с блоком управления процессом УЗ сварки, специализированной пьезоэлектрической колебательной системы и пассивной прижимной планки позволили реализовать процесс формирования двойного поперечного герметизирующего шва протяженностью до 360 мм за время, менее 1 секунды.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в пищевой промышленности все большее распространение получают различные способы и устройства упаковки сыпучих и жидких продуктов. Их производство осуществляется различными отечественными и зарубежными фирмами: Бестром (Россия), АО «Сигнал» (Россия), Braibanti (Италия), Bullez (Швейцария), ECL (США), Ishida (Япония), Tetra –Pac (Швеция), Wagetechnic (Германия).

Упаковка в полимерные термопластичные (термосвариваемые) пленки с вертикальной подачей продукта получила наибольшее распространение для сыпучих пищевых продуктов: крупы, орехов, муки, молока, сахара, конфет, чипсов и т. д. Аналогичные упаковочные машины используются для упаковки жидких пищевых продуктов: молока и молочных продуктов, соусов и кетчупов и т. п. Герметизация пластиковых пакетов при этом заключается в формировании поперечного участка для выполнения шва, сжатии пакета на этом участке до соприкосновения внутренних поверхностей стенок пакета друг с другом, осуществлении энергетического воздействия на материал пакета для повышения температуры, достаточной для формирования термического шва [1].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для формирования термического шва в упаковочных машинах обычно применяют высокоскоростную импульсную сварку. Технология тепловой герметизации пластиковых пакетов с применением импульсной сварки имеет несколько существенных недостатков:

1. не обеспечивает герметизации пластиковых пакетов при упаковке мелкодисперсных пылящих продуктов (перец, молотый кофе, мука, гипс и т. п.) и жидких вязких продуктов (майонезы, кремы, соусы и кетчупы и т. п.). Причина заключается в попадании упаковываемого продукта на поверхности стенок пленки в зоне формирования теплового шва. На этих участках тепловой шов не формируется, и происходит термическое разложение продукта, что приводит к снижению качества продукта, потерям при транспортировке и потерям товарного вида из-за загрязнения поверхностей упаковки;

2. не позволяет формировать термический шов по жидкому продукту при упаковке молока, соков и аналогичных продуктов для исключения попадания в пакет нестерильного воздуха;

3. не позволяет контролировать процесс формирования термического шва для определения момента перехода материалов на границе соединения в вязкопластичное состояние и оптимизировать время герметизации при отклонениях геометрических и технологических параметров от нормы, а также при смене материала упаковочной пленки или ее толщины.

В связи с этим возникла необходимость в поиске простого и эффективного способа сварки, позволяющего обеспечить герметизацию пластиковых пакетов при упаковке всех видов продуктов, в том числе сыпучих и жидких, а для его практической реализации разработать специализированное оборудование.

2. ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

Проведенный анализ функциональных возможностей различных способов герметизации, применительно к упаковке в полимерные термопластичные пленки с вертикальной подачей продукта, позволил предложить в качестве энергетического воздействия, способного решить поставленную задачу, ультразвуковое воздействие, т. е. метод ультразвуковой низкотемпературной сварки [2].

Герметизацию пакета при реализации ультразвуковой сварки предложено осуществлять двумя поверхностями: прижимной планкой и рабочим окончанием колебательной системы, совершающим колебания с частотой 22 кГц и амплитудой от 20 до 50 мкм, в зависимости от толщины материала пакета. В процессе ультразвукового воздействия имеется возможность регистрировать параметр ультразвукового воздействия, характеризующий степень перехода материала в вязкопластичное состояние. Это позволяет автоматически устанавливать время, необходимое и достаточное для формирования герметичного шва [3]. Предложенная технология формирования герметизирующего шва поясняется рисунком 1.

В верхней части упаковочной машины установлена загрузочная воронка 1 с устройством для регулирования количества поступающего продукта. Упаковываемый продукт 2 под действием силы тяжести и направляющей воронки 1 распределяется в специальную цилиндрическую емкость 3, формирующую рукав 4 из полимерной пленки. Формирование рукава осуществляется с помощью лентопротяжного механизма 5 и продольного термосварочного устройства 6. Перед поступлением дозы продукта, срабатывают приводы механизмов поперечной сварки 7, включающие ультразвуковую колебательную систему 8 и питающий ее электронный генератор 9. Механизм поперечной сварки обеспечивает сжатие пакета 10 на участке формирования шва 11 двумя поверхностями: прижимной планкой 12 и рабочим окончанием 13 ультразвуковой колебательной системы 8 до соприкосновения внутренних поверхностей стенок пакета друг с другом. Энергетическое воздействие на материал пакета осуществляется ультразвуковыми колебаниями с амплитудой от 20 до 50 мкм, в зависимости от толщины пленки формируемого пакета до перевода материала в вязкопластичное состояние.

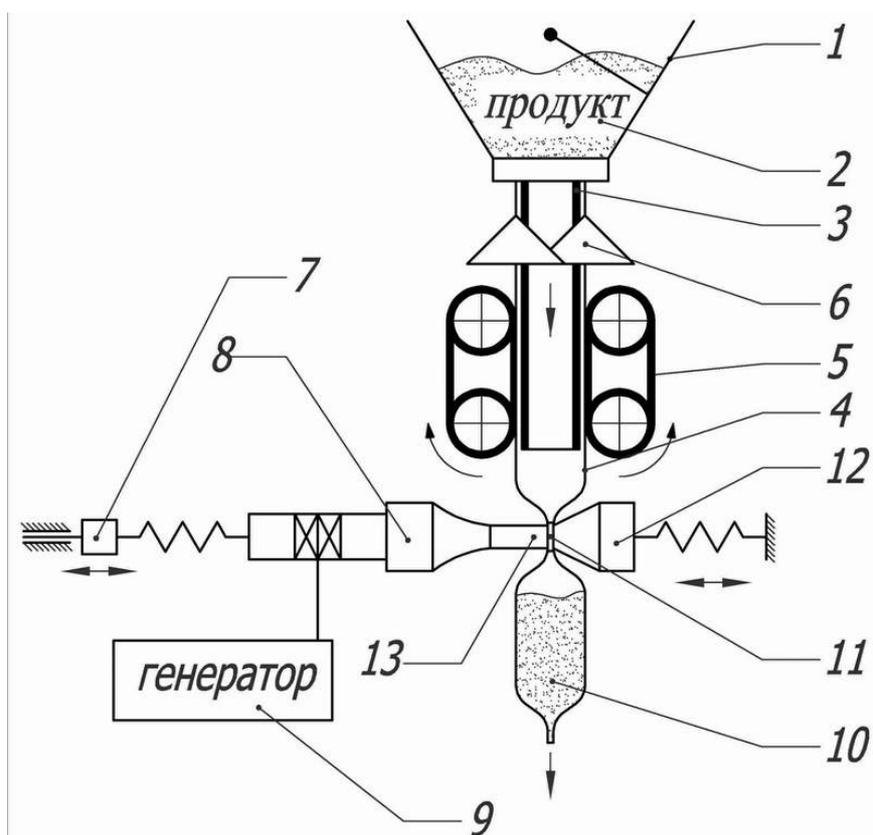


Рис. 1. Схема формирования поперечного герметизирующего шва ультразвуковой сваркой

Ультразвуковую колебательную систему перемещают по направлению к прижимной планке до формирования шва. При этом формируется нижний поперечный (горизонтальный) термический шов, т. е. герметизируется пластиковый пакет с упакованным продуктом. Нож отделяет порцию упакованного продукта (пакет с продуктом) и цикл повторяется [4].

Основной технической проблемой практической реализации ультразвуковой сварки для герметизации всех типов упаковочных пакетов (шириной до 350 мм) является необходимость создания колебательной системы с рабочим окончанием длиной 350...360 мм и шириной, достаточной для одновременного формирования двух швов (в герметизируемом и формируемом пакетах) за время менее 1 секунды.

При создании ультразвукового оборудования, основные усилия были направлены на разработку специальной ультразвуковой колебательной системы, способной обеспечить формирование сварного шва длиной 360 мм и шириной 12 мм для одновременного формирования двух швов.

3. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Проведенные теоретические исследования по моделированию процессов формирования УЗ колебаний и экспериментальные исследования различных вариантов практической реализации колебательных систем позволили предложить и разработать пьезоэлектрическую ультразвуковую колебательную систему, выполненную по классической двухполуволновой конструктивной схеме, объединяющей два полуволновых пьезоэлектрических преобразователя и резонансный полуволновой концентратор механических колебаний, имеющий рабочее окончание специальной формы (рис. 2). Пьезоэлектрические преобразователи выполнены по схеме преобразователя Ланжевена и состоят из последовательно размещенных и акустически связанных между собой резонансной отражающей накладкой, пьезоэлектрических элементов и рабочей излучающей накладки. Отличительной особенностью разработанных преобразователей является смещение пьезоэлектрических элементов в сторону отражающей накладки относительно зоны максимальных механических напряжений и минимума механических колебаний. Это позволило повысить электроакустический коэффициент преобразования и выполнить узел крепления преобразователя на рабочей накладке в зоне минимума механических колебаний. Размещение узла крепления преобразователя в зоне минимальных ультразвуковых колебаний обеспечило минимальное демпфирование ультразвуковой колебательной системы и максимальную амплитуду колебаний излучающей поверхности рабочей накладки. Наличие узла крепления позволило предложить специальную конструкцию защитных корпусов, и обеспечить установку колебательной системы в различные типы упаковочных машин (рис. 2).

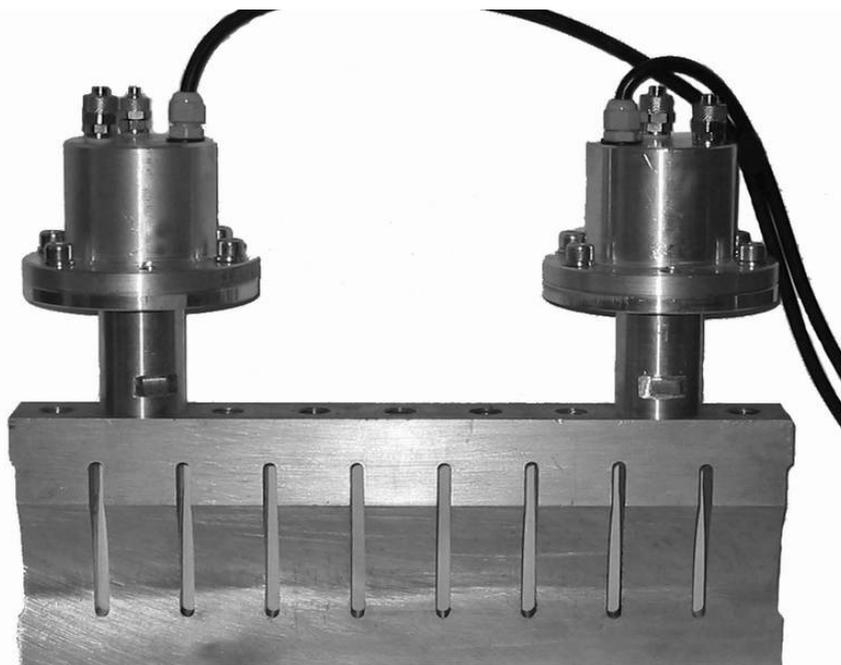


Рис. 2. Ультразвуковая колебательная система для обеспечения сварного шва длиной 360 мм

Концентратор ультразвуковых колебаний имеет формирующую колебания поверхность соединения с пьезоэлектрическими преобразователями и излучающую поверхности прямоугольной формы, одинакового продольного размера (длины), а отношение их поперечных размеров определяет коэффициент усиления концентратора. Для обеспечения максимального коэффициента усиления и уменьшения предельных механических напряжений концентратор выполнен по схеме полуволнового ступенчато-радиального концентратора [5].

Геометрические размеры концентратора выбраны из условия обеспечения максимального коэффициента усиления, таким образом, что длины участков концентратора с различными поперечными размерами и длина радиального перехода между ними соответствуют шестой части длины волны ультразвуковых колебаний в материале концентратора, причем размеры плавного перехода выбраны из условия

$$R = 1,2...1,3 \frac{4L_z^2 + (D_1 - D_2)^2}{4(D_1 - D_2)},$$

где L_z — длина плавного перехода, D_1 и D_2 — поперечные размеры формирующей и излучающей поверхностей концентратора.

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.

Рабочее окончание концентратора (инструмент) имеет две плоские поверхности размером 360×5 мм для одновременного формирования двух швов и паз для перемещения ножа, отделяющего пакет после упаковки продуктов.

Для обеспечения необходимой величины и распределения амплитуды ультразвуковых колебаний вдоль излучающей поверхности концентратора было предложено и реализовано несколько новых технических решений, совместная реализация которых обеспечила необходимое и достаточное ультразвуковое воздействие:

- излучающая накладка преобразователя и концентратор выполнены из алюминия, а размеры излучающей поверхности пьезоэлектрических преобразователей и поперечный размер формирующей колебания поверхности концентратора имеют размер, соответствующий шестой части длины волны ультразвуковых колебаний в алюминии.

- для исключения паразитных деформаций излучающей поверхности, обусловленных упругими свойствами материала (коэффициентом Пуассона) в концентраторе выполнены сквозные пазы. Исследования влияния различных по форме и размерам пазов позволили установить, что максимальный эффект устранения паразитных колебаний, обусловленных деформациями всего концентратора, достигается при выполнении сквозных пазов шириной 5–6 мм через расстояния, равные шестой части длины волны ультразвуковых колебаний в материале концентратора.

- для возбуждения колебаний формирующей поверхности использованы два пьезоэлектрических преобразователя. В результате исследований было установлено оптимальное расположение пьезоэлектрических преобразователей — на формирующей поверхности концентратора ультразвуковой колебательной системы, как представлено на рис. 2.

В результате выбора мест размещения преобразователей и пазов было обеспечено распределение амплитуды колебаний по поверхности рабочего инструмента, иллюстрируемое рис. 3.

Представленное распределение амплитуды колебаний было установлено в связи с необходимостью формирования надежного герметизирующего шва на четырех слоях пленки, расположенных по краям пакета и двух слоях по остальной части пакета. По этой причине краевые зоны рабочего окончания колебательной системы совершают колебания с амплитудой, превышающей амплитуду колебаний излучающей поверхности преобразователя.

Для электрического питания пьезоэлектрической ультразвуковой колебательной системы был разработан электронный блок, включающий, кроме генератора электрических колебаний ультразвукового диапазона, блок контроля и автоматического управления процессом сварки. Для обеспечения работы электронного генератора в составе упаковочных машин предусмотрено управление генератором посредством интерфейса RS-232 с персонального компьютера.

Электронный генератор выполнен по схеме мостового инвертора, а для автоматизации процесса сварки снабжен регулятором амплитуды колебаний излучающей поверхности колебательной системы и системой автоматического поддержания частоты генератора резонансной частоте колебательной системы при всех возможных изменениях температурных параметров ультразвуковой колебательной системы и свойств, свариваемых полимерных материалов в процессе получения сварного шва.

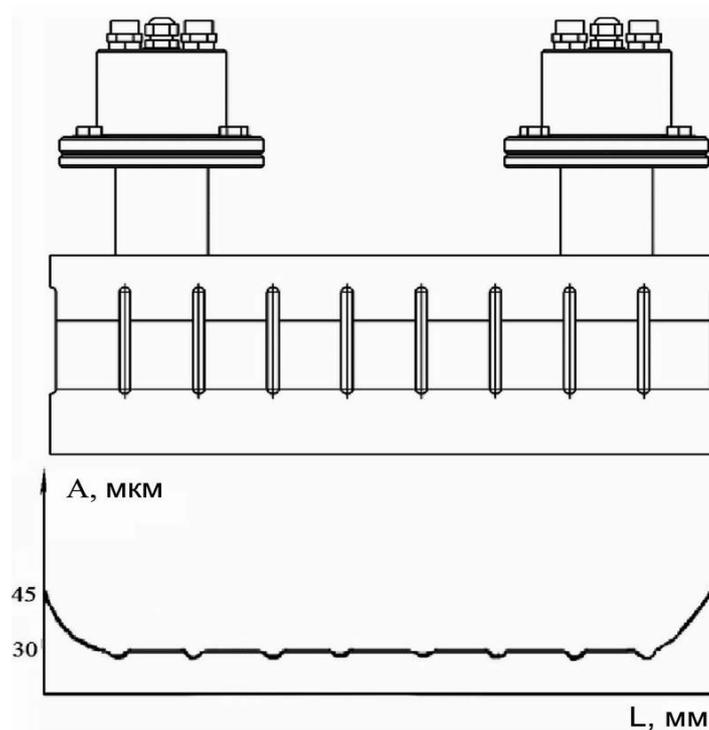


Рис. 3. Распределение амплитуды колебаний по поверхности рабочего инструмента

Функциональные возможности созданного электронного блока обеспечивают автоматическую установку времени ультразвуковой сварки и времени удержания свариваемых материалов, изменение уровня выходной мощности до 3500 Вт и амплитуды колебаний рабочего окончания колебательной системы до 50 мкм.

Разработанные колебательная система и электронный генератор позволили реализовать технологический процесс герметизации упаковочных пакетов за время от 0,5 до 1,0 секунды в зависимости от толщины и материала используемой для упаковки пленки.

В результате экспериментальных исследований по выбору оптимальных условий и режимов герметизации была решена проблема создания одинаковых условий прижима вдоль всей излучающей поверхности колебательной системы за счет создания специальной, упругой прижимной планки, форма которой показана на рис. 4.

Для увеличения поглощения энергии ультразвуковых колебаний в термопластичной пленке пакета использовано поглощающее покрытие на поверхности прижимной планки, выполненное из нескольких слоев тканого высокотемпературного материала, покрытого слоем фторопласта, исключающего прилипание свариваемого материала к подложке.

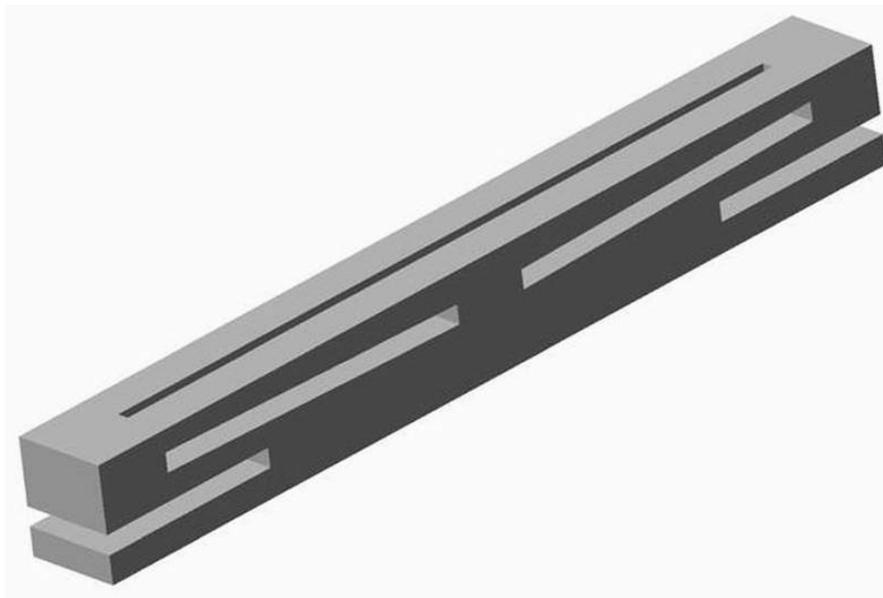


Рис. 4. Упругая прижимная планка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований и разработок создано специализированное ультразвуковое оборудование для комплектации упаковочных машин, способное обеспечить при герметизации жидких и сыпучих пылящих продуктов формирование двойного поперечного герметизирующего шва протяженностью до 360 мм за время менее 1 секунды.

При создании оборудования решены следующие технические задачи:

- разработана ультразвуковая колебательная система, состоящая из полуволнового пьезоэлектрического преобразователя и ступенчато-радиального концентратора, обеспечивающая достаточную для формирования герметизирующего шва амплитуду и ее распределение вдоль всей излучающей поверхности длиной 360 мм и шириной 12 мм;
- разработан узел крепления ультразвуковой колебательной системы, обеспечивающий минимальное демпфирование, исключающий передачу колебаний и возможность интегрирования в различные упаковочные машины;

– разработаны технические решения, позволившие создать узел сварки на основе специальной прижимной планки, создать исследовательский стенд (рис. 5) и определить технологические параметры и режимы сварки.



Рис. 5. Исследовательский стенд ультразвуковой сварки

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов М. Е. Упаковка сыпучих продуктов. М, ДЕЛИ, 2000.
2. Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов, Ленинград, Машиностроение, 1988.
3. Патент РФ по заявке № 2004135854 Способ герметизации пластиковых пакетов при упаковке сыпучих и жидких продуктов.
4. Волков С. С., Черняк Б. Я. Сварка пластмасс ультразвуком, Москва, Химия.
5. Теумин И. И. Коэффициент полезного действия ультразвуковых концентраторов. Акустический журнал, 1963, т. 9, № 2, 205–208.