

## УСТРОЙСТВО УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ПО СЛОЖНОМУ КОНТУРУ

**В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, А.Д. Абрамов, М.В. Хмелев, С.В. Левин**

*Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ, г. Бийск*

Статья посвящена разработке и созданию автоматизированной линии для ультразвуковой сварки изделий представляющей собой блистерную упаковку для пищевых. Созданная автоматизированная линия позволила в автоматизированном режиме обеспечить формирование герметичных сварных швов со сложным замкнутым контуром.

*Ключевые слова:* автоматизированная линия, колебательная система, ультразвуковая сварка, сварка по сложному контуру.

### ВВЕДЕНИЕ

С целью предотвращения потери массы продукции, сохранения всех качественных характеристик, снижения нежелательных изменений первоначального состава, а также органолептических свойств применяется разная упаковка продуктов питания, создающая необходимые санитарные условия, которые предупреждают загрязнение продуктов питания, обсеменение их чужеродной микрофлорой и поражение вредителями. К тому же использование упаковки создает удобства при транспортировке, хранении и реализации продуктов питания. Такого рода упаковка должна быть легкой, прочной и отлично оберегать продукты питания от возможной деформации.

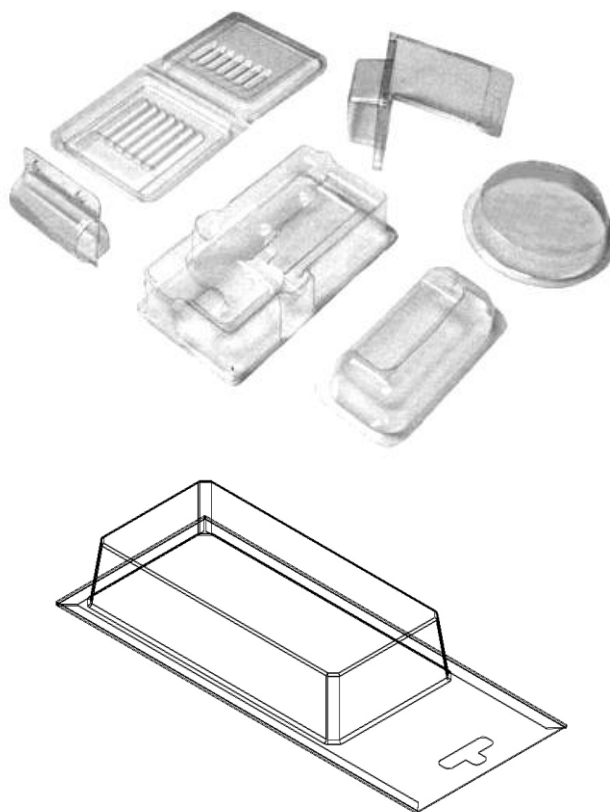
В настоящее время сложно представить, что всего 20 лет назад товар, как правило, упаковывался в картонную упаковку.

Но с развитием технологий, изобретением новых материалов и повышению санитарно-гигиенических норм ему нашли гораздо лучшую замену – блистер (рис.1). Именно он сегодня популярнее всего для упаковки любой продукции: от промышленных товаров и бытовых изделий до продуктов питания и фармацевтической продукции [1].

Блистерная упаковка – это своего рода прозрачный пластиковый футляр или оболочка со сложным замкнутым контуром, которая в большинстве случаев в точности повторяет объемы и габариты формы продукта. Такая тара изготавливается из высококачественного и безвредного для здоровья пластика. Толщина (плотность) блистера подбирается в зависимости от размера и характеристик хранящейся продукции (ее вес, габариты, хрупкость и др.).

Плотная пленка может копировать форму изделия и соединяться с жесткой картонной подложкой, на

которой производитель может нанести информацию об изделии, его применении, а также дополнительную рекламу.



**Рис. 1.** Внешний вид блистерной упаковки

Перед другими типами блистерная упаковка имеет очевидный ряд преимуществ. Она прозрачна по сравнению с коробкой, это дает возможность покупателям увидеть товар, рассмотреть его практически со всех сторон, не нарушая целостности обертки. Изготавливается блистерная упаковка

быстро, и она сравнительно недорогая. Блистерная упаковка закрывает плотно и надежно, это дает возможность при транспортировке защитить товар от различных царапин, повреждений и деформации.

Исходя из вышесказанного, можно не сомневаться в преимуществах блистерной упаковки для продуктов питания, но главной проблемой на сегодняшний день остается ее герметизация. Именно герметичность самой упаковки является неременным условием увеличения срока годности продуктов питания.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

На сегодняшний день основными способами герметизации блистерной упаковки являются склеивание и термосварка [2].

Каждый из способов характеризуется как положительными, так и отрицательными сторонами при соединении полимерных материалов.

Для склеивания полимерных материалов, используемых в пищевой промышленности, требуются специальные нетоксичные 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 достаточную герметизацию.

Термическая сварка применяется при соединении ограниченного числа полимерных материалов. Это обусловлено тем, что для их прогрева требуется нагрев сварочного инструмента до высокой температуры, что приводит к термическому разрушению большинства полимеров и выделению токсичных веществ [2].

Таким образом, склеиванием и термической сваркой трудно реализовать технологический процесс получения качественного герметичного соединения термопластичных материалов за короткий промежуток времени и без выделения вредных веществ.

Анализ возможностей ультразвукового способа сварки применительно к решению проблемы формирования герметичного сварного шва позволил выявить его несомненные достоинства [3, 4]:

- получение качественного сварного шва за время, не превышающее долей секунды;
- возможность сварки по загрязненным поверхностям как жидкими, так и сыпучими материалами;
- получение надежного герметичного шва при температуре, меньшей температуры термического разложения полимерного материала, что позволяет повысить качество сварного соединения и исключить негативное влияние на здоровье человека;
- 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 ультразвукового оборудования, способного обеспечить формирование герметичных сварных швов со сложным замкнутым контуром.

В связи с этим существует необходимость разработки и создания специализированного ультразвукового оборудования, предназначенного для герметизации блистеров по сложному замкнутому контуру.

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

- провести патентный обзор существующих устройств, осуществляющих ультразвуковую сварку изделий по сложному контуру;
- разработать и изготовить узел позиционирования и перемещения источника ультразвука вдоль поверхности формируемого шва;
- разработать и изготовить узел прижима источника ультразвука к поверхности одной из заготовок свариваемого изделия;
- провести исследования герметичности и прочности сварного соединения.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В массовом производстве для упаковки пищевых продуктов в тару из термопластичных материалов используют устройства ультразвуковой сварки, обеспечивающие подведение свариваемых изделий в зону сварки, осуществляющие прижим свариваемых изделий к сварочной опоре при помощи сварочного инструмента и формирующие, в результате ультразвукового воздействия, сварочный шов, размеры и форма которого определяется рабочим сварочным инструментом или пассивной опорой.

Известны устройства ультразвуковой сварки [5] для соединения изделий из термопластичных материалов, включающие источник ультразвуковых колебаний, заканчивающийся рабочим сварочным инструментом, имеющим рабочую поверхность, в сечении образующую прямоугольник, с размерами одной стороны в 2–5 мм, а другой 150–220 мм. Для реализации сварки такие устройства снабжены узлами, обеспечивающими прижим сварочного инструмента к свариваемым материалам. Жестко заданная форма и размеры сварочной поверхности не позволяют устройствам подобного типа сваривать изделия, имеющим сложный профиль сварочного

контура с радиусами кривизны, превышающими размеры инструмента.

Целесообразным считается использовать для соединения изделий из термопластичных материалов, имеющих сложный контур, устройство ультразвуковой сварки [6], включающие источник ультразвуковых колебаний, заканчивающийся рабочим сварочным окончанием с размером, не превышающим ширину требуемого шва. Такие устройства позволяют сваривать изделия, имеющие сложный профиль сварочного шва, однако отсутствие узлов, обеспечивающих прижим сварочного инструмента и, следовательно, значительное использование ручного труда оператора при обходе сложного контура значительно снижают качество формируемого шва и ограничивают область использования данных устройств.

Чаще всего на практике используются устройства, осуществляющие ультразвуковую сварку изделий по сложному контуру [7]. Устройство работает следующим образом. Свариваемые заготовки из термопластичного материала подаются в зазор между источником ультразвука и пассивной опорой, являющейся в данном устройстве вальцом, перемещающим заготовки, и служащий для размещения и фиксации заготовок. Операция ультразвуковой сварки выполняется с образованием множества мест соединения для обеспечения требуемого рисунка соединения и придания изделию требуемого внешнего вида, прочностных и эксплуатационных свойств за счет перемещения источника ультразвука.

Основными недостатками известного устройства является то, что узел позиционирования источника ультразвука имеет возможность перемещения только вдоль жестко закрепленной пассивной опоры, отсутствие полного контакта торцевой поверхности источника ультразвука и свариваемых материалов с пассивной опорой обусловленное радиусом кривизны пассивной опоры, что значительно снижает качество сварного соединения.

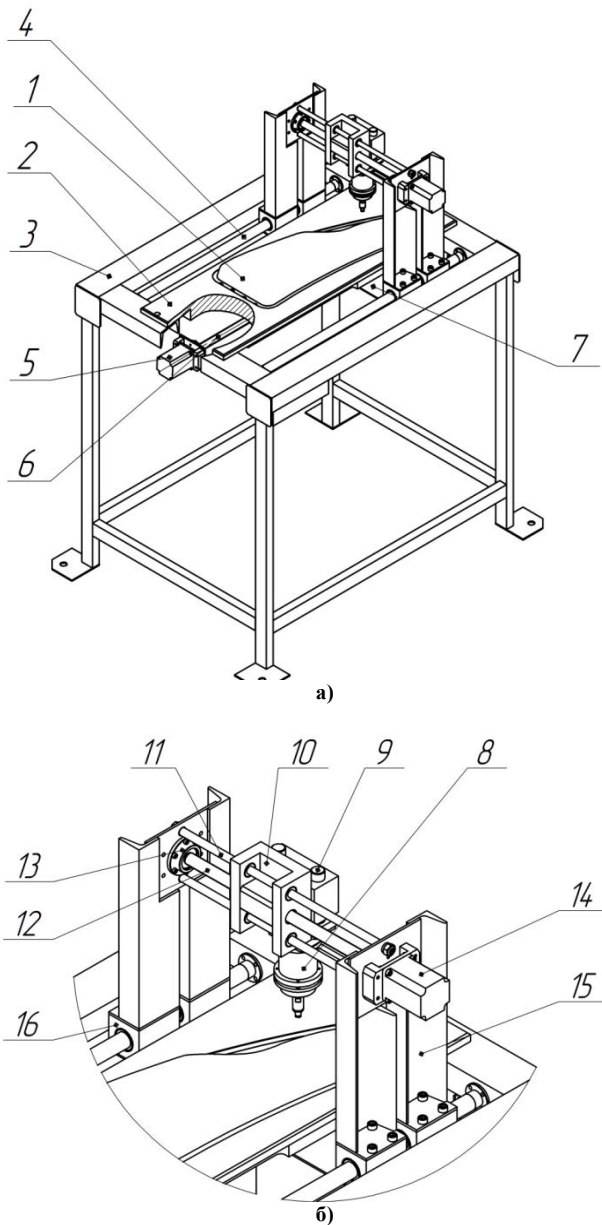
Предлагаемое техническое решение направлено на устранение недостатков существующего устройства, а именно, для обеспечения возможности соединения изделий из термопластичных материалов при помощи ультразвуковой сварки по сложному контуру.

Суть предложенного технического решения заключается в том, что в устройстве ультразвуковой сварки изделий по сложному контуру, содержащем источник ультразвука, узел позиционирования и перемещения источника ультразвука вдоль поверхности формируемого шва, узел прижима источника ультразвука к поверхности одной из заготовок свариваемого изделия, неподвижную пассивную опору для размещения и фиксации заготовок свариваемого изделия, неподвижная пассивная опора для размещения и фиксации заготовок свариваемого изделия имеет опорную

площадку, форма которой соответствует форме нижнего опорного участка заготовки свариваемого изделия. Источник ультразвука выполнен в виде последовательно установленных и акустически связанных между собой отражающей металлической накладки, пьезоэлектрический элементов и концентратора, заканчивающегося участком, торцевая поверхность которого имеет сварочную площадку, имеющую углубления заданной формы. Узел позиционирования источника ультразвука выполнен в виде независимых узлов горизонтального перемещения вдоль поверхности формируемого шва и узла вертикального перемещения при помощи управляемых пневматических цилиндров, обеспечивающих перемещение источника ультразвука по вертикали, прижим к поверхности свариваемого изделия с задаваемым усилием и перемещение в процессе сварки на глубину, не превосходящую половины толщины стенки свариваемого изделия. Узлы перемещения, прижима и источник ультразвука обеспечивают формирование необходимого количества сварок по контуру, координаты которого определяются при помощи линейной аппроксимации контура свариваемого изделия.

Сущность предложенного технического решения поясняется рис. 2а и рис. 2б, на которых схематично показано устройство ультразвуковой сварки по сложному контуру и приняты следующие обозначения: 1 – свариваемые материалы, 2 – пассивная опора; 3 – основание устройства; 4 – направляющая скольжения продольной координаты; 5 – электродвигатель продольной координаты; 6 – ходовой винт продольной координаты; 7 – ребро жесткости; 8 – источник ультразвука; 9 – пневматический цилиндр; 10 – ходовая втулка поперечной координаты; 11 – направляющая скольжения поперечной координаты; 12 – ходовой винт поперечной координаты; 13 – подшипниковый узел; 14 – электродвигатель поперечной координаты; 15 – узел позиционирования источника ультразвука; 16 – ходовая втулка продольной координаты.

Устройство работает следующим образом. Свариваемые материалы 1 укладываются в пассивную опору (ложемент) 2. Пассивная опора имеет опорную площадку повторяющую контур соединяемых заготовок изделия в зоне формирования шва, что позволяет реализовывать сварное соединение и исключает сдвиг заготовок друг относительно друга.



**Рис. 2. Схематичное устройство автоматизированной линии**

Пассивная опора жестко закрепляется на основании 3, являющейся несущей конструкцией устройства в целом. Узел позиционирования 15 источника ультразвука 8 выполнен в виде независимых узлов горизонтального перемещения по продольной и поперечной координатам вдоль поверхности формируемого шва, движущихся по направляющим скольжения 4 и 11 бронзовыми ходовыми втулками 10 и 16 и узла вертикального перемещения построенного на основе управляемых пневматических цилиндров 9, обеспечивающих перемещение источника ультразвука по вертикали. Источник ультразвука выполнен в виде последовательно установленных и акустически связанных между собой отражающей металлической накладкой, пьезоэлектрических элементов и

концентратора, заканчивающегося участком, торцевая поверхность которого имеет сварочную площадку, имеющую углубления заданной формы. Узлы горизонтального перемещения приводятся в движение электродвигателями 5 и 14, вращающий момент которых преобразуется в поступательное движение при помощи ходовых винтов 6 и 12 с трапецеидальной резьбой вращающихся в подшипниковых узлах 13. Жесткость конструкции узла позиционирования и отсутствие подклинивания при движении обеспечивается ребром жесткости 7, стягивающим две независимые части узла позиционирования.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Внешний вид разработанной автоматизированной линии для сварки изделий из термопластичных материалов показан на рис. 3.



**Рис. 3. Внешний вид автоматизированной линии**

Основные технические характеристики представлены в табл. 1.

**Табл.1. Основные технические характеристики**

Мощность, ВА, не более, (без учета компрессора)	400
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±22
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм, не менее	40
Время непрерывной работы, ч	8
Габаритные размеры механического блока, мм	790x1040x1450
Масса механического блока, кг, не более	90
Рабочее давление, МПа, не более	0,7
Расход воздуха, л/мин, не менее	150

Вид получаемого сварного соединения показан на рис.4.

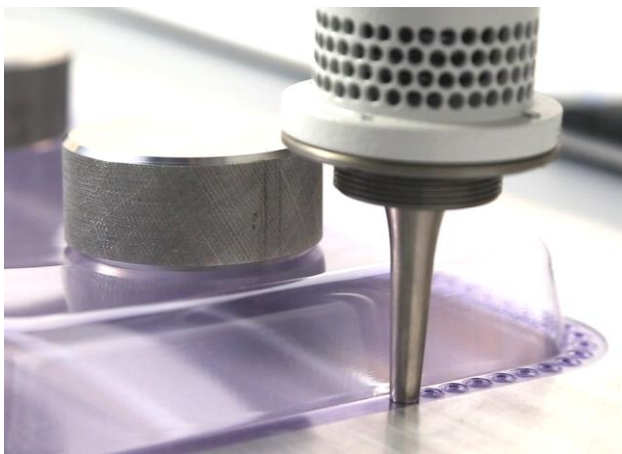


Рис. 4. Вид получаемого сварного соединения

Предложенное устройство было разработано и испытано в производственных условиях предприятия ООО «Центр ультразвуковых технологий». В производственных условиях была обеспечена производительность не менее 30 шт. изделий/час, при формировании герметичного сварного шва.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработана и изготовлена автоматизированная линия для ультразвуковой сварки изделий по сложному контуру. При этом были решены следующие технические задачи:

- проведен патентный обзор существующих устройств, осуществляющих ультразвуковую сварку изделий по сложному контуру;
- разработан и изготовлен узел позиционирования и перемещения источника ультразвука вдоль поверхности формируемого шва;
- разработан и изготовлен узел прижима источника ультразвука к поверхности одной из заготовок свариваемого изделия;
- проведены исследования герметичности и прочности сварного соединения.

Проведенные исследования показали, что разработанная автоматизированная линия обеспечивает высокое качество сварного соединения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. . Блистерная упаковка. Виды и преимущества [Электронный ресурс] Веб-узел "Упаков: Блистер". – 2014. – Режим доступа: [http://www.upakov.ru/poleznaya\\_informaciya/state-vidi\\_blisternoy\\_upakovki.html](http://www.upakov.ru/poleznaya_informaciya/state-vidi_blisternoy_upakovki.html)
2. Khmelev, V.N. Researches of Ultrasonic Welding of Polymer Ring-Shaped Materials [Текст] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2010: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2010. – P.345-349.
3. Хмелев, В.Н. Разработка ультразвуковых колебательных систем для формирования кольцевых сварных швов [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Проведение научных исследований в области машиностроения: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. – Тольятти: ТГУ, 2009. – С.23-29.
4. Хмелев, В.Н. Методика определения прочности кольцевых сварных швов в полимерных материалах [Текст] / В.Н. Хмелев,

А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, В.А. Нестеров // Южно – сибирский научный вестник – 2012. – № 2. – С. 184-188.

5. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые multifunctional аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст] / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов // Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.

6. Хмелев В. Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов // Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.

7. Способ и устройство для изготовления многослойной структуры [Текст] / пат. 2462217 Рос. Федерация: МПК5 А61F 13/15 / Фернквист М., Тондкар М., опубликовано: 27.09.2012.

*Хмелев Владимир Николаевич – заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432581, e-mail: [vnh@bti.secna.ru](mailto:vnh@bti.secna.ru).*

*Хмелев Сергей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [ssh@bti.secna.ru](mailto:ssh@bti.secna.ru).*

*Генне Дмитрий Владимирович – ведущий инженер, кафедра методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [gdv@bti.secna.ru](mailto:gdv@bti.secna.ru).*

*Абраменко Денис Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [ades@bti.secna.ru](mailto:ades@bti.secna.ru).*

*Абрамов Алексей Дмитриевич – инженер, кафедра металлорежущих станков и инструментов, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [abramov@bti.secna.ru](mailto:abramov@bti.secna.ru).*

*Хмелев Максим Владимирович – ведущий инженер, кафедра методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [maxx@bti.secna.ru](mailto:maxx@bti.secna.ru).*

*Левин Сергей Викторович – ведущий инженер, кафедра технической графики, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [lsv@bti.secna.ru](mailto:lsv@bti.secna.ru).*