

УДК 621.791.19

doi: 10.18698/0536-1044-2019-3-21-30

Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой контурной сварки изделий из полиэтилена

С.С. Волков¹, С.А. Королев¹, Л.А. Шестель²¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана² Омский государственный технический университет

Development of Technology and Equipment for Ultrasonic Planimetric Welding of Polyethylene Products

S.S. Volkov¹, S.A. Korolev¹, L.A. Shestel²¹ Bauman Moscow State Technical University² Omsk State Technical University

Рассмотрена специфика ультразвуковой контурной сварки полиэтиленовых емкостей сложной формы, наполненных пищевыми продуктами. Предложен и применен контурный волновод, дающий возможность сваривать ультразвуком емкости из полиэтилена большого диаметра (до 120 мм) с толщиной 0,4...1,5 мм. Решена проблема получения качественного герметичного сварного соединения по поверхности полиэтиленовой емкости, загрязненной агрессивными средами, со стабильными механическими свойствами. Разработаны различные формы рабочей поверхности контурного волновода, позволяющие сваривать емкости с хорошим внешним видом и высокими показателями прочности и герметичности. Предложена схема сварки емкостей контурным волноводом с акустическим экраном. Приведены результаты исследований по определению оптимальных параметров режима ультразвуковой контурной сварки. Определены форма, материал и расположение опоры по отношению к контурному волноводу. Разработаны технология и оборудование для ультразвуковой контурной сварки полиэтиленовых банок большого диаметра, наполненных различными веществами и продуктами. В результате проведенной работы все исследованные жидкости разделены на три группы по степени их влияния на свариваемость.

Ключевые слова: контурный волновод, амплитуда колебаний волновода, контурная ультразвуковая сварка, рабочая поверхность волновода, полиэтиленовая банка, звукопоглощающие пластины

The specifics of ultrasonic planimetric welding of polyethylene containers of irregular shape filled with foodstuff are considered in this work. A planimetric wave guide that can be used for welding polyethylene containers of a large diameter (up to 120 mm) and thickness ranging from 0.4 to 1.5 mm is proposed and implemented. The issue of obtaining high-quality leak-tight weld joints with stable mechanical properties on the surface of a polyethylene container exposed to corrosive environment is resolved. Various shapes of the working surface of the planimetric wave guide are developed, making it possible to weld containers with good appearance, durability and leak-tightness. A scheme for welding containers by a planimetric wave guide with an acoustic screen is proposed. The results of studies to determine the optimal parameters for the modes of ultrasonic planimetric welding are presented. The

shape, material and position of the support in relation to the planimetric wave guide are defined. The technology and equipment for ultrasonic planimetric welding of polyethylene cans of a large diameter filled with various substances and foodstuff are developed. As the result of the research, all the studied liquids are divided into three groups depending on their influence on weldability.

Keywords: planimetric wave guide, amplitude of fluctuations of a wave guide, planimetric ultrasonic welding, working surface of a wave guide, polyethylene can, sound-absorbing plates

В последнее время российская промышленность стала переходить на пластмассовую тару для укупорки в нее пищевых и других продуктов. В связи с этим возникла необходимость создания прочного, герметичного, неразъемного соединения. Существует несколько методов получения неразъемного соединения полимеров, одним из которых является сварка [1, 2].

В настоящее время применяют следующие способы сварки термопластов: нагретым газом, горячим инструментом, токами высокой частоты, трением и инфракрасным излучением. Однако эти способы имеют существенные недостатки: низкую производительность, разогрев большой площади полимера и невозможность сваривать токами высокой частоты пластмассы с загрязненными поверхностями [1, 3].

Выбор способа сварки зависит от толщины материала, свойств пластмассы, серийности выпуска изделий, типа конструкции и предъявляемых к ней требований, а также от условий, в которых происходит рабочий процесс. Для ряда полимеров качественные соединения можно получить сваркой ультразвуком [1, 4].

Исследования, проведенные в последние годы на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана, по разработке метода ультразвуковой сварки (УЗС) пластмасс показали его преимущества перед перечисленными способами, а также выявили области его применения в промышленности.

С помощью ультразвука можно сваривать изделия с поверхностями, покрытыми агрессивными средами (растворами солей, пищевыми кислотами, маслами и т. д.). Нагреву подвергают только ту незначительную по глубине и ширине часть внутренней поверхности соединяемых полимеров, которая предназначена для УЗС. Это очень важно для емкостей с пищевыми продуктами и различными горючими веществами, так как исключает разогрев продукта, помещенного в полимерную тару.

Поверхность деталей предварительно не обрабатывают. В отличие от сварки токами высо-

кой частоты УЗС не требует значительного диэлектрического коэффициента потерь у свариваемых материалов, нуждаясь лишь в достаточной абсорбционной способности. Ею обладают почти все термопластические материалы, что позволяет сваривать их ультразвуком [2, 4, 5].

Указанные преимущества дают возможность использовать этот метод УЗС для укупорки пищевых продуктов в полиэтиленовую тару.

Рассмотрим принципиально новый способ УЗС пластмасс по контуру большого диаметра (90...120 мм), позволяющий проводить сварку по контурной отбортовке изделия за один прием, затрачивая при этом минимум времени.

По данным отечественной и зарубежной литературы [1, 5], до настоящего времени УЗС полимеров проводили главным образом точками, прерывистыми и непрерывными швами. Соединения выполняли преимущественно точечными и ножевыми волноводами. В последние годы стали появляться волноводы простой конфигурации (в виде круга, квадрата, треугольника, эллипса) и небольших размеров, не превышающих по диаметру 30 мм [6, 7].

Однако далеко не во всех случаях применение таких типов соединений является рациональным. Высокая производительность, а также условия герметичности емкостей требуют создания новых форм сварочных волнопроводов, дающих возможность сваривать полимеры большого диаметра по замкнутому контуру.

Цель работы — разработка и исследование контурных волнопроводов нового типа, позволяющих проводить УЗС изделий большого диаметра за один прием.

При разработке технологии УЗС в качестве объектов, подлежащих сварке, выбраны полиэтиленовые банки для упаковки жидких продуктов (рис. 1). Банки изготовлены методом литья под давлением из белого нестабилизированного полиэтилена низкой плотности. Наружный диаметр банки — 108 мм, высота — 22 мм.

Верхняя часть банки имеет контурную отбортовку шириной 4 мм и толщиной 0,7 мм,

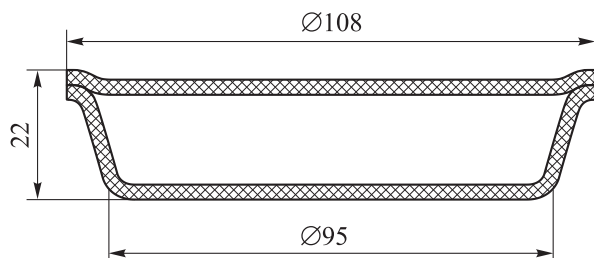


Рис. 1. Схема полиэтиленовой банки для упаковки жидких продуктов

что создает благоприятные условия для УЗС контурным волноводом большого диаметра (108 мм). Крышка также выполнена с отбортовкой и заплечиками по всему диаметру, с помощью которых плотно входит внутрь банки.

Так как при укладке круговых швов большого диаметра нельзя обеспечить высокую производительность, возникла необходимость разработки контурного волновода, позволяющего получать круговые швы за один цикл сварки, т. е. за одно его движение.

Волновод, предназначенный для трансформации и концентрации ультразвуковых (УЗ) колебаний в контакте с соединяемыми изделиями, служит сварочным инструментом. Возможность создания качественного соединения полимеров в первую очередь зависит от правильно спроектированной колебательной системы — волновода.

При проектировании УЗ-волноводов необходимым условием является максимальная передача акустической энергии от волновода к свариваемому изделию. Кроме того, на выходе всей колебательной системы, т. е. на торце волновода, которым он проводит сварку, должна быть вполне определенная амплитуда колебаний, составляющая в каждом конкретном случае от 20 до 40 мкм при диаметре изделий 108 мм. Указанная амплитуда колебаний достигается выбором рациональной формы волновода.

В соответствии с теорией расчета УЗ-волноводов-инструментов наилучшими показателями обладает тот из них, у которого площадь в каждом его сечении по длине изменяется согласно экспоненциальному закону. Такие волноводы в ультразвуке называют трепаноидальными [8, 9].

Проведенные эксперименты по УЗС полиэтиленовых банок показали, что трепаноидальные волноводы диаметром свыше 50 мм не обеспечивают качественной сварки изделия по

всему контуру. УЗС происходит лишь в отдельных точках, что объясняется наличием в системе различных форм колебаний. Наблюдалась также неравномерность распределения амплитуды колебаний на торце волновода по его периметру. Указанная амплитуда достигала 10...13 мкм. Кроме того, такие волноводы сложны в изготовлении.

Из изложенного следует, что в данном случае трудно было получить форму волновода, пользуясь обычными расчетными формулами. Поэтому сварку изделий большого диаметра по замкнутому контуру приходилось осуществлять за несколько этапов волноводом ножевого и полукольцевого типов. Такой способ УЗС резко снижает свойства сварного соединения, а в ряде случаев неприемлем по конструктивным соображениям.

В связи с этим возникла потребность в создании такого волновода, который бы устранил все недостатки в процессе УЗС и имел амплитуду колебаний на конце рабочего торца 30...40 мкм. При конструировании волноводов диаметром более 100 мм необходимую амплитуду колебаний на конце торца волновода можно получить, присоединив к вводящему стержню так называемую демпфирующую массу (насадку).

Таким образом, задача заключается в том, чтобы связать геометрические размеры насадки и вводящего стержня с режимом колебаний пластины. При этом амплитуда колебаний на торце пластины должна быть максимальной, что, видимо, также зависит от размеров вводящего стержня и пластины.

Эксперименты проведены со стержневым волноводом, рассчитанным по экспоненциальному закону, с добавлением к нему пластин-насадок толщиной 10...40 мм. С учетом размеров изделия диаметр насадки составил 108 мм.

Равномерность колебаний по рабочему торцу волновода и увеличение амплитуды колебаний до 30...40 мкм по всему периметру достигнуты путем присоединения к концу стержня насадки грибовидной формы, увеличивающей жесткость и препятствующей возникновению поперечных колебаний на торце волновода. В этом случае основными колебаниями волновода являются продольные.

В результате проведенной экспериментальной работы создан новый вид контурного волновода для сварки круговых швов диаметром 108 мм за один цикл движения магнитострик-

ретаая удовлетворительный внешний вид и герметичность.

Наилучшее формирование шва получено при нанесении насечки на рабочую поверхность волновода по всему его торцу. При этом во избежание просекания изделия выступы насечки необходимо делать закругленными (рис. 3, 2).

Применение таких форм насечек на рабочей поверхности волноводов позволило избежать сильного ослабления толщины изделия у сварного шва и образования свищей. Кроме того, уменьшился грат, выступавший частично наружу, а частично внутрь изделия. Это объясняется тем, что при наличии рельефов и выступов на рабочей поверхности волновода концентрация вводимой в шов энергии больше, чем при сварке волноводом с гладкой рабочей поверхностью.

Во всех случаях на рабочей поверхности волновода делали выступ высотой 0,2 мм и шириной 0,4 мм, который, подплавляя края полимера, не давал вытечь жидкости из изделия.

Существенное влияние на качество сварного соединения оказывают форма и расположение опоры 4 по отношению к волноводу 1 (рис. 4).

При изготовлении системы опора-волновод необходимо соблюдать соосность и параллель-

ность рабочих поверхностей волновода и опорных стаканов. Опора имеет форму цилиндра с закругленными краями, в которую при сварке помещают изделие. Были опробованы опоры из различных материалов: стали 45, алюминиевых сплавов, текстолита и др. Хорошие результаты получены при сварке изделий на четвертьволновой опоре из стали 45, закрепленной на резиновой подложке.

Исследовано влияние ширины буртика опоры на прочность шва. Наилучшее качество и стабильность сварного соединения обеспечивались при условии, когда ширина буртика опоры приблизительно равна ширине рабочей поверхности волновода.

Схема сварки цилиндрических изделий (на примере полиэтиленовой банки) контурным волноводом приведена на рис. 5. УЗС проводят следующим образом. Полиэтиленовую банку помещают в стакан-опору 5, где ее фиксирует буртик, расположенный в ее верхней части. Крышка 3 плотно удерживается на поверхности банки заплечиками. Волновод 1 с некоторым давлением и большой точностью прикладывают по всему контуру банки строго по осевой линии. При УЗС по контуру емкостей, наполненных жидкостью, возникает ее возмущение, вызванное ультразвуковым ветром (УЗВ), исходящим с торцевой поверхности контурного волновода большого диаметра.

УЗВ — постоянный направленный поток УЗ-энергии, наблюдаемый как в воздухе, так и в жидкостях. Интенсивность УЗВ определяется свойствами среды, а также амплитудой, формой и частотой колебаний контурного волновода [1, 7, 10].

Известно, что если на поверхность УЗ-излучателя налить тонкий слой воды, то при включении УЗ-колебаний над поверхностью жидкости образуется туман. Одной из причин его образования является кавитация на поверхности жидкости. Во время работы магнетострикционного преобразователя с поверхности контурного волновода излучается воздушный поток, направленный вертикально вниз к свариваемому изделию. Этот УЗВ, попадая на поверхность жидкости, возмущает ее с определенной частотой, образуя рябь [11].

В случае когда контур волновода плотно прилегает к свариваемой поверхности, происходит максимальное возмущение жидкости. В емкости возникает давление, под воздействием которого жидкость поднимается по стенкам

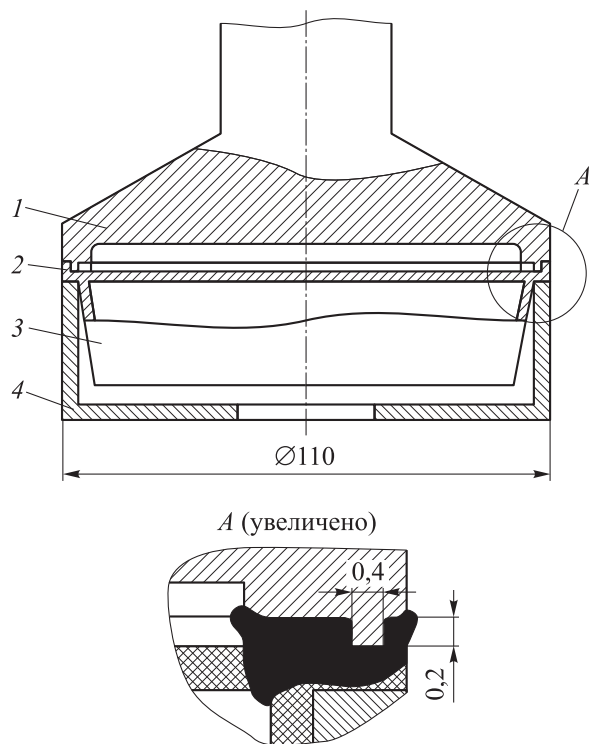


Рис. 4. Схема опоры с изделием:
1 — волновод; 2 — крышка; 3 — коробка; 4 — опора

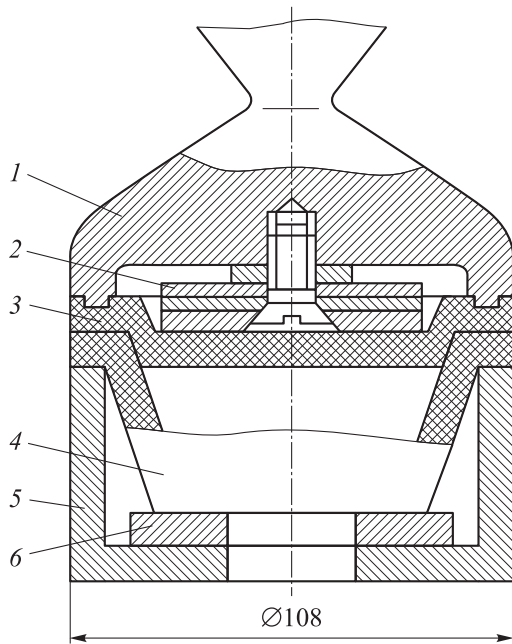


Рис. 5. Схема сварки полиэтиленовой банки контурным волноводом:
1 — контурный волновод; 2 — звукопоглощающие пластины; 3 — крышка изделия; 4 — изделие; 5 — стакан-опора; 6 — подложка

и стремится выйти наружу. В это время полимер размягчается под воздействием УЗ-колебаний на узкой полоске сварного шва. Жидкость под давлением устремляется в ослабленные места соединений, где еще не произошло сплавление материала, и выходит наружу, образуя свищи и непровары [12].

Возникновение тумана вокруг волновода в процессе сварки свидетельствует о наличии свищей в получаемом соединении. Эти же явления обуславливают в большинстве случаев и непровары, так как поднимающаяся по стенкам жидкость поступает на поверхность раздела свариваемых изделий, препятствуя протеканию УЗС.

Очевидно, чем больше вязкость жидкости, тем меньше вероятность ее подъема под действием УЗВ до поверхности раздела деталей, а следовательно, ниже вероятность образования свищей и непроваров. Действительно, наилучшие результаты достигаются при герметизации жидких продуктов вязкостью более 4 Па·с (меда, майонеза, жидкого мыла и др.), а наихудшие — при герметизации жидкостей вязкостью 0,5 Па·с (воды, спирта и др.).

При сварке контурным волноводом в центре крышки может возникать прожог или пробой материала. Установлено, что прожог обуслов-

лен колебаниями крышки с собственной частотой колебаний волновода, а также наличием направленного потока — УЗВ. В этом случае крышка колеблется аналогично тонкой мембране, зажатой по контуру волноводом. При определенных условиях наибольшие динамические напряжения наблюдаются в центре крышки, что приводит к ее усталостному разрушению [13].

Отсюда следует, что наиболее рациональным способом предотвращения разрушения крышки является ее демпфирование в процессе УЗС. В качестве демпфера используют звукопоглощающие пластины 2 (см. рис. 5), которые плотно поджимают к крышке пористой резиной. Эксперименты показали, что при таком демпфировании, когда воздушный зазор между демпфером и крышкой полностью выбран, крышка не разрушается.

Для частичного предотвращения образования УЗВ при сварке емкостей предлагается применять звукопоглощающие пластины (акустический экран). Пластины, собранные из звукопоглощающих материалов (свинца, пористой резины, пенопластов и др.), склеенных в различных сочетаниях, крепили к рабочим поверхностям волновода, оставляя только узкую полоску рабочей сваривающей части волновода. При использовании таких пластин качество соединения при сварке емкости с жидкостью улучшилось на 15...20 %.

Непровары при УЗС также могут быть обусловлены разнотолщинностью свариваемых поверхностей. Изменение свойств шва по окружности происходит из-за разнотолщинности свариваемых поверхностей изделий. При измерении этих поверхностей по периметру разнотолщинность достигала 37 % максимальной толщины свариваемого материала. Как показали эксперименты, для емкостей, наполненных жидкими продуктами, допустимая разнотолщинность по их периметру составляет 15...20 % максимальной толщины материала.

При УЗС ненаполненных продуктами емкостей, выполненных из материала толщиной 0,7 мм, разнотолщинность не оказывает существенного влияния на качество соединений.

Поскольку свариваемость мягких пластмасс в значительной мере определяется консистенцией жидких продуктов, загрязняющих контактирующие поверхности, при отработке режимов за величину, по которой оценивали склон-

ность к сварке, приняли вязкость жидкости. При этом все жидкости можно подразделить на три группы по степени их влияния на свариваемость. За эталон качества соединения принимали банку, сваренную без жидкого продукта. В зависимости от вязкости жидкости, наполняющей банку, меняются условия сварки и качество соединений.

Первая группа содержит жидкости вязкостью 5...8 Па·с, вызывающие уменьшение прочности не более чем на 10 % по сравнению с прочностью при сварке без загрязняющих прослоек. Это жидкое мыло, сиропы, масла для амортизаторов, мед, майонез и др.

Вторая группа включает в себя жидкости вязкостью 2...5 Па·с, снижающие прочность на 10...20 % (касторовое, растительное, трансформаторное и др. масла).

Третья группа состоит из жидкостей вязкостью не менее 0,5 Па·с (молоко, водные растворы солей, кислот, щелочей, спирты и др.),

которые значительно затрудняют процесс сварки.

На основании созданной технологии контурной УЗС емкостей из полиэтилена низкой плотности, наполненных различными жидкими продуктами, с применением нового типа контурного волновода на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и изготовлена ультразвуковая сварочная установка УПК-15М1 (рис. 6).

На установке УПК-15М1 можно сваривать изделия диаметром 35...120 мм и толщиной 0,4...1,5 мм. Сварку проводят по слою различных жидких наполнителей. Производительность установки УПК-15М1 — 800 изделий в 1 ч при диаметре 108 мм. Используемый генератор — УЗГ5-1.6, магнитострикционный преобразователь — ПМС1 мощностью 1,5 кВт. Основные параметры режима сварки: время сварки — 1,0...1,5 с; статическое сварочное давление — 1,5...2,0 МПа; амплитуда колебаний волновода — 30...35 мкм.

Установка работает следующим образом (см. рис. 6). Коробки из полиэтилена, наполненные жидкостью и закрытые крышками, в момент останова стола вручную помещают в стаканы 9. При повороте стола 8 на 60° и в момент его полного останова толкатель 2 уходит с выступа 1 и пружины 4, опуская кронштейн 3 со сварочным узлом 5, 6, который с некоторым усилием, регулируемым поджимной пружиной, зажимает коробку между волноводом и стаканом.

В момент зажатия коробки включается ультразвук и осуществляется сварка изделия. Продолжительность сварки регулируется по остаточной толщине шва свариваемой коробки. Поворот стола осуществляется мальтийским крестом, расположенным в редукторе 12, работающим от электродвигателя 13.

Во время сварки, т. е. останова стола, кулачок продолжает вращаться, и при подходе выступа к толкателю 11 последний поднимает преобразователь с волноводом, стол поворачивается в следующую позицию, сваренная коробка выталкивается на лоток 10 и снимается с машины.

Стол 8 имеет шесть поворотных позиций. В каждой из них в момент останова стола происходят загрузка коробки с лотка 7, УЗС и съем готовой продукции.

Установка УПК-15М1 укомплектована электрическим блоком, позволяющим определить

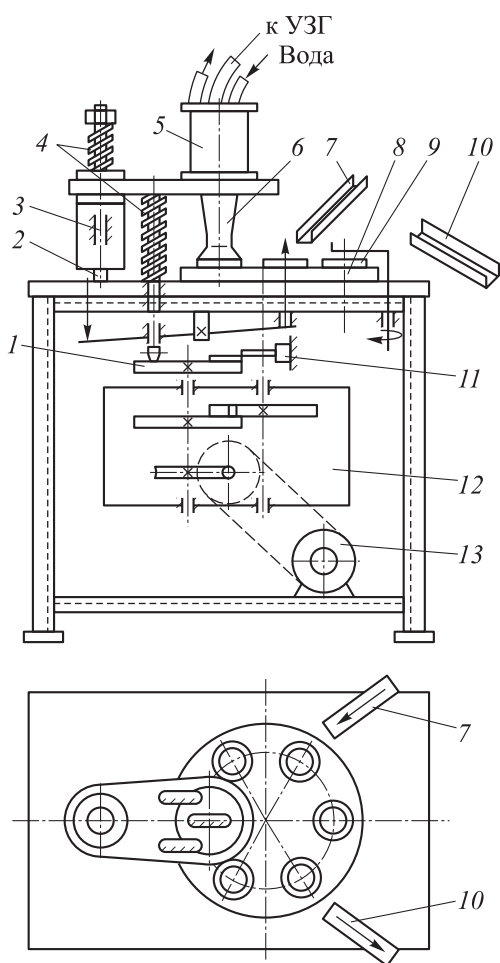


Рис. 6. Схема работы ультразвуковой сварочной установки УПК-15М1

продолжительность действия ультразвука в зависимости от деформации свариваемых деталей, т. е. проводить отключение ультразвука в момент достижения определенного, заранее установленного значения деформации. Установка УПК15-М1, предназначенная для УЗС изделий из полиэтилена, полипропилена, полиамидов и т. п., работает по заранее разработанному рабочему циклу приложения сварочного давления: ультразвук — контактное сварочное давление [13].

Чтобы очистить соединяемые поверхности, загрязненные различными агрессивными средами (солями, маслами, уксусом, горчицей, томатами и др.), на установке УПК15-М1 была уменьшена скорость приложения давления, т. е. давление нарастало постепенно, и УЗ-колебания включались до его приложения на свариваемое изделие. Таким образом, постепенно касаясь изделия, волновод сообщал ему УЗ-колебания, тем самым очищая поверхность прежде, чем наступала сварка. И только в этом случае удалось получить прочный и качественный шов.

Применение разработанного контурного волновода позволило внедрить УЗС для изделий большого диаметра, стабилизировать свойства сварного соединения и получить качественные швы без прожогов и непроваров. Изделия прошли испытания на герметичность в вакуумной камере с остаточным давлением до 8 кПа.

Выводы

1. Предложенный контурный волновод диаметром 108 мм позволяет сваривать изделия большого диаметра, наполненные пищевыми продуктами.

2. Новый технологический процесс по укупорке различных продуктов в полимерную тару позволяет проводить УЗС по поверхностям, покрытым агрессивными жидкостями.

3. Разработанные формы рабочей поверхности контурного волновода обеспечивают хороший внешний вид и герметичность сварного изделия.

Литература

- [1] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [2] Волков С.С. Распределение мощности в ультразвуковой сварочной системе при сварке полимерных пленок. *Сварочное производство*, 2012, № 10, с. 42–46.
- [3] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Welding International*, 2012, no. 26(4), pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [4] Volkov S.S. Ultrasound control welding of polymer packages containing food products. *Welding International*, 2009, vol. 23(3), pp. 213–218, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110902784087>
- [5] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [6] Волков С.С., Бигус Г.А. Технология и оборудование для ультразвуковой контурной сварки изделий из АБС-пластика. *Сварочное производство*, 2016, № 9, с. 43–49.
- [7] Волков С.С. Основные параметры режима ультразвуковой контурной сварки емкостей из полиэтилена. *Сварочное производство*, 2010, № 6, с. 43–47.
- [8] Volkov S.S. Technology for ultrasound welding multielement components produced from rigid plastics. *Welding International*, 2004, no. 18(3), pp. 242–245, doi: 10.1533/wint.2004.3273
- [9] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastic. *Welding International*, 2008, no. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561
- [10] Волков С.С., Шестель Л.А., Соколов В.А. Разработка процесса ультразвуковой сварки изделий из полиэтилентерефталатных пленок. *Сварка и диагностика*, 2013, № 2, с. 58–62.
- [11] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding International*, 2013, vol. 27(2), pp. 163–166, doi: 10.1080/09507116.2012.695551
- [12] Tetslav O.V., Volkov S.S. Examination of the process of head generation in ultrasound welding Dacron cloth. *Welding International*, 2001, no. 14(3), pp. 219–221.
- [13] Волков С.С. Энергетические показатели работы акустического узла при ультразвуковой сварке. *Сварка и диагностика*, 2012, № 6, с. 40–44.

References

- [1] Volkov S.S. *Svarka i skleivaniye polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya publ., 2001. 376 p.
- [2] Volkov S.S. Power distribution in ultrasonic welding system at welding of polymer films. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2012, no. 10, pp. 42–46 (in Russ.).
- [3] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Welding International*, 2012, no. 26(4), pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [4] Volkov S.S. Ultrasound contour welding of polymer packages containing food products. *Welding International*, 2009, vol. 23(3), pp. 213–218, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110902784087>
- [5] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [6] Volkov S.S., Bigus G.A. Technology and equipment for ultrasonic contour welding of the products made of ABS-plastic. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2016, no. 9, pp. 43–49 (in Russ.).
- [7] Volkov S.S. Critical parameters of the outline ultrasonic welding conditions for the polyethylene containers. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2010, no. 6, pp. 43–47 (in Russ.).
- [8] Volkov S.S. Technology for ultrasound welding multielement components produced from rigid plastics. *Welding International*, 2004, no. 18(3), pp. 242–245, doi: 10.1533/wint.2004.3273
- [9] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastic. *Welding International*, 2008, no. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561
- [10] Volkov S.S., Shestel' L.A., Sokolov V.A. Development of the process of ultrasonic welding of products from polyethylene terephthalate films. *Welding and diagnostics*, 2013, no. 2, pp. 58–62 (in Russ.).
- [11] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding International*, 2013, vol. 27(2), pp. 163–166, doi: 10.1080/09507116.2012.695551
- [12] Tetslav O.V., Volkov S.S. Examination of the process of head generation in ultrasound welding Dacron cloth. *Welding International*, 2001, no. 14(3), pp. 219–221.
- [13] Volkov S.S. Energy performance of the acoustic unit during ultrasonic welding. *Welding and diagnostics*, 2012, no. 6, pp. 40–44 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 21.11.2018

Информация об авторах

ВОЛКОВ Станислав Степанович — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: map@bmstu.ru).

КОРОЛЕВ Сергей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: korolevsa@rambler.ru).

ШЕСТЕЛЬ Леонид Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр-т Мира, д. 11, e-mail: weldtech@mail.ru).

Information about the authors

VOLKOV Stanislav Stepanovich — Candidate of Science (Eng.), Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).

KOROLEV Sergey Anatolievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: korolevsa@rambler.ru).

SHESTEL Leonid Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Equipment and Technology for Welding Industry. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: weldtech@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Королев С.А., Шестель Л.А. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой контурной сварки изделий из полиэтилена. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 3, с. 21–30, doi: 10.18698/0536-1044-2019-3-21-30

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Korolev S.A., Shestel L.A. Development of Technology and Equipment for Ultrasonic Planimetric Welding of Polyethylene Products. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 3, pp. 21–30, doi: 10.18698/0536-1044-2019-3-21-30



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
Ю.Г. Драгунова

**«Обеспечение прочности и ресурса
реакторных установок с водо-водяными
энергетическими реакторами»**

Изложены подходы к обоснованию безопасности реакторных установок с водо-водяными энергетическими реакторами, в частности прочности оборудования, с учетом нагрузок и изменений свойств материалов в условиях нормальной эксплуатации и при авариях. Рассмотрены вопросы управления ресурсом критических элементов оборудования реакторных установок с водо-водяными энергетическими реакторами.

Пособие в первую очередь адресовано студентам специальности «Ядерные реакторы и материалы», может быть полезно для студентов и аспирантов, обучающихся по направлению подготовки «Ядерная энергетика и технологии», а также специалистов, работающих в области создания оборудования для ядерной индустрии.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru