

УДК 621.791.16

Влияние параметров шовной ультразвуковой сварки пленок на процесс образования сварных соединений

С.С. Волков, А.В. Коновалов, Н.В. Коберник, А.В. Сударев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Influence of parameters of ultrasonic seam welding of films on the process of formation of welded joints

S.S. Volkov, A.V. Konovalov, N.V. Kobernik, A.V. Sudarev

Bauman Moscow State Technical University

Разработана технология шовной ультразвуковой сварки полимерных пленок. Показано, что параметрами, определяющими производительность шовной ультразвуковой сварки полимерных пленок, являются амплитуда колебаний волновода-инструмента, статическое сварочное давление, скорость сварки с фиксированным зазором на вращающемся ролике-опоре с автостабилизацией толщины создаваемого соединения, частота ультразвуковых колебаний и длина пятна контакта торца волновода-инструмента в направлении сварки. Установлено, что с увеличением длины пятна контакта торца волновода-инструмента линейно повышается скорость сварки. Приведена кинетика образования сварных соединений околошовной зоны полимерных пленок, полученных при различных значениях параметров режима ультразвуковой сварки. Установлено, что загрязненность соединяемых поверхностей пленок жидкими или сыпучими продуктами не влияет на свариваемость и прочность шва. Для повышения прочности и качества сварного соединения, а также для уменьшения теплоотвода в волновод-инструмент и опору рекомендовано применять теплоизоляционные прокладки из целлофана или бумаги. Исследовано влияние теплового режима ультразвуковой сварки на остаточную толщину соединений полимерных пленок при высокой производительности процесса, хорошей прочности и отсутствии деструкции пленок.

EDN: UTJATJ, <https://elibrary/utjatj>

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, полимерные пленки, статическое сварочное давление, фиксированный зазор, амплитуда колебаний волновода, частота ультразвуковых колебаний

The technology of ultrasonic seam welding of polymer films has been developed. It is shown that the parameters that determine the performance of the process of ultrasonic seam welding of polymer films are the amplitude of waveguide oscillations, welding static pressure and welding speed with a fixed gap on a rotating support roller with auto-stabilization of the thickness of the welded joint, the frequency of ultrasonic vibrations and the length of the contact spot of the end face of the welding waveguide. tool in the welding direction. It is determined that with an increase in the length of the contact spot of the end of the waveguide, the speed of seam welding increases linearly. The kinetics of the formation of welded joints in the heat-affected zone of polymer films obtained at various values of the parameters of the ultrasonic welding mode is given. It is shown that the contamination of welded film surfaces with liquid or bulk products does not affect the weldability and strength of welded

joints. To increase the strength and quality of the welded joint, as well as to reduce heat removal to the waveguide and support, it is recommended to use heat-insulating spacers made of cellophane or paper. The influence of the thermal mode of ultrasonic welding on the residual thickness of welded joints of polymer films at high process productivity, good strength and absence of destruction of welded films was studied.

EDN: UTJATJ, [https://elibrary/utjatj](https://elibrary.utjatj)

Keywords: ultrasonic welding, polymer films, static welding pressure, fixed gap, waveguide vibration amplitude, ultrasonic vibration frequency

В настоящее время налажено производство большого количества пленочных полимерных материалов с различными сочетаниями физико-механических, термических, химических и реологических свойств. Благодаря разнообразию свойств таких материалов их применяют для укупорки пищевых и других продуктов.

В связи с этим возникла необходимость создания прочного, герметичного, неразъемного соединения полимерных материалов. Существуют несколько методов получения такого соединения, одним из которых является сварка [1–3].

Выбор способа сварки зависит от толщины материала, свойств полимерных материалов, серийности выпуска изделий, типа конструкции и предъявляемых к ней требований, а также условий, в которых происходит сварка. Для соединения некоторых пленочных полимерных материалов эффективно использовать ультразвуковую сварку (УЗС).

Результаты исследований, проведенных за последние годы на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана по разработке метода УЗС полимерных пленок (ПП), показали преимущества этого способа перед другими (сваркой нагретым газом, нагретым инструментом, расплавом, экструзией, токами высокой частоты, инфракрасным излучением, световым лучом) и выявили области его применения в промышленности [1, 4, 5].

Однако для загрязненных поверхностей все указанные методы сварки, кроме УЗС, не обеспечивают получения качественного соединения и надежной герметизации упаковываемого продукта. Возможность УЗС по таким поверхностям обусловлена тем, что загрязнения под действием ультразвуковых колебаний устраняются из сварочной зоны. Вероятно, удалению загрязнений способствуют поперечные волны, распространяющиеся от зоны сварки [4, 6].

С помощью ультразвука можно выполнять сварку изделий, поверхности которых покрыты растворами солей, пищевых кислот, масла и т. д.

Нагреву подвергают только ту незначительную по глубине и ширине часть внутренней поверхности соединяемых полимерных материалов, которая предназначена для сварки.

Это очень важно при сварке полимерной тары с пищевыми продуктами и горючими веществами, так как исключает возможность разогрева продукта, помещенного в нее. Поверхность деталей не подвергают предварительной обработке. В отличие от сварки токами высокой частоты УЗС не требует значительного диэлектрического коэффициента потерь свариваемых материалов. Достаточная абсорбционная способность, которой обладают почти все термопластичные полимерные материалы, позволяет соединять их ультразвуком [4, 5, 7].

В зависимости от перемещений сварочного волновода-инструмента (далее волновод) относительно изделия УЗС подразделяют на прессируемую и непрерывную.

Первая из них обеспечивает получение непрерывного протяженного сварного шва (далее шов) благодаря относительному перемещению волновода и свариваемого изделия. Ее используют для УЗС изделий из ПП и синтетических тканей: мешков, непромокаемой одежды, филь-

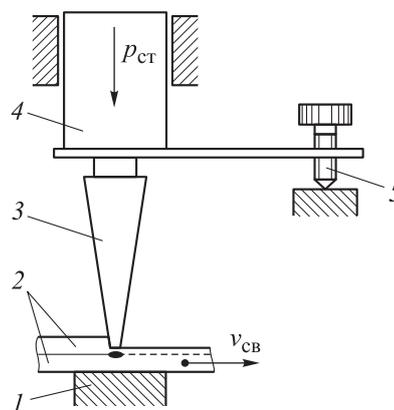


Рис. 1. Схема УЗС протяженных швов с установкой необходимого зазора между рабочим торцом волновода и опорой:

- 1 — опора; 2 — свариваемые пленки; 3 — волновод;
- 4 — магнитострикционный преобразователь;
- 5 — микрометрический винт для ограничения зазора

тров и т. п. Для непрерывной УЗС применяют схемы с фиксированными осадкой и зазором (рис. 1).

По степени механизации непрерывную сварку подразделяют на ручную и механизированную. В первом случае для получения непрерывных соединений любой протяженности оператор вручную перемещает сварочный узел, оставляя изделие неподвижным. Благодаря клинообразной заточке и незначительной толщине свариваемых материалов волновод контактирует с небольшим объемом полимера [1, 2].

Таким способом можно соединять многослойные пакеты из полиэтилентерефталатной пленки, а также полипропиленовые и полиамидные пленки типа ПК-4, имеющие металлизированное, фотоэмульсионное или ферролаковое покрытие, без предварительного удаления последнего. Эту разновидность УЗС также называют сваркой скользящим инструментом [1].

Ручная сварка ПП затруднена периодическим налипанием размягченного полимера на волновод, что приводит к прожогам свариваемого материала. Чтобы устранить этот недостаток при УЗС можно использовать теплоизоляционные прокладки из бумаги, фторопласта, целлофана, металлической фольги, чертежной кальки и др.

Ручную сварку можно применять для получения соединений в труднодоступных местах, а также для прихватки деталей перед механизированной сваркой. В последнее время ручные ультразвуковые пистолеты используют для сварки, наплавки, резки костных и других биологических тканей [1, 7, 8].

Механизированная непрерывная сварка, как правило, осуществляется при перемещении свариваемого изделия и неподвижном волноводе. В зависимости от способа перемещения свариваемого материала механизированную УЗС подразделяют на шовно-шаговую и шовную (рис. 2).

Необходимость герметично укупоривать в емкости из полиэтиленовой пленки различные пищевые продукты и детали технического назначения потребовала изыскания универсальных экономичных и высокопроизводительных способов сварки. Сложность задачи состоит в том, что герметизирующий шов необходимо выполнять тогда, когда полиэтиленовая емкость (мешок) уже наполнена, и свариваемые поверхности часто оказываются покрытыми различными веществами.

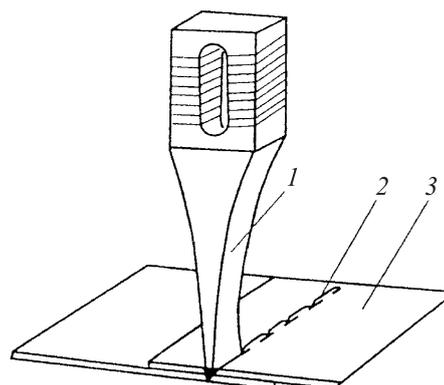


Рис. 2. Схема шовно-шаговой УЗС:
1 — волновод; 2 — шов; 3 — свариваемые ПП

В некоторых упаковочных машинах (линиях) использован метод шовной УЗС. При разработке высокопроизводительных машин, работающих по принципу непрерывного перемещения вертикально стоящих упаковок (крафт-мешков с полиэтиленовыми вкладышами, заполненными сухим молоком, мукой и т. п.), необходимо увеличивать линейную скорость УЗС, обеспечиваемую ультразвуковым сварочным устройством [3, 4].

Цель работы — получение высококачественных сварных соединений при УЗС ПП.

Основными параметрами УЗС ПП являются: амплитуда колебаний рабочего торца волновода (определяющая при заданной постоянной частоте энергию вводимых в материал колебаний) A , мкм; сила прижатия волновода к материалу — статическое сварочное давление (далее статическое давление) $p_{ст}$, МПа; скорость перемещения свариваемого материала под волноводом (или время пропускания ультразвукового импульса) v , м/с; зазор, устанавливаемый между рабочим торцом волновода и опорой, на которой расположен свариваемый материал; материал и форма рабочего торца волновода; частота ультразвуковых колебаний f , кГц; площадь пятна контакта сварочного волновода S [1, 8].

На кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана выполнена работа по исследованию некоторых особенностей шовной УЗС ПП. По ее результатам спроектирована и изготовлена ультразвуковая сварочная машина УППШ-19, предназначенная для шовной УЗС дублированных пленочных материалов типа полиэтилен-целлофан (ПЦ-2) и полиэтилен-лавсан толщиной 70...150 мкм.

В машине использована схема автостабилизации толщины шва. Сварку пленок можно

проводить по загрязненным поверхностям. Машина позволяет сваривать швы любой протяженности. Мощность электродвигателя составляет 0,2 кВт. Сварочную машину УПШ-19 применяют для сварки рукавов, мешков и пакетов при упаковке пищевых продуктов.

Электрокинематическая схема сварочной машины УПШ-19 приведена на рис. 3. Электродвигатель 4 с регулируемой скоростью вращения передает вращение ролику-опоре 3 и тянущим роликам 1. Свариваемая пленка движется между волноводом 2 и роликом-опорой под действием сил сцепления с последним.

Тянущие ролики 1 предназначены для стабилизации скорости сварки. Вращающийся ролик-опора 3 выполнен в виде датчика, чтобы наблюдать за процессом УЗС. Материал ролика — пьезокерамика ЦТС-19. При деформации ролика-опоры с частотой ультразвуковых колебаний на его металлизированных обкладках возникает электродвижущая сила, замеряемая индикатором И.

Величина сигнала датчика-опоры является функцией толщины полимера и его температуры. При нарушении процесса УЗС величина сигнала меняется. С помощью переменного сопротивления оператор имеет возможность подобрать скорость сварки $v_{св}$, соответствующую оптимальному режиму, ориентируясь на показания индикатора И [1, 5].

Сварочный узел включает в себя магнито-стрикционный преобразователь (пакет) мощностью 0,4 кВт с частотой ультразвуковых колебаний 22 кГц, трансформатор упругих колебаний, являющийся согласующим акустическим звеном между волноводом и преобразователем, и волновод, через рабочий торец которого

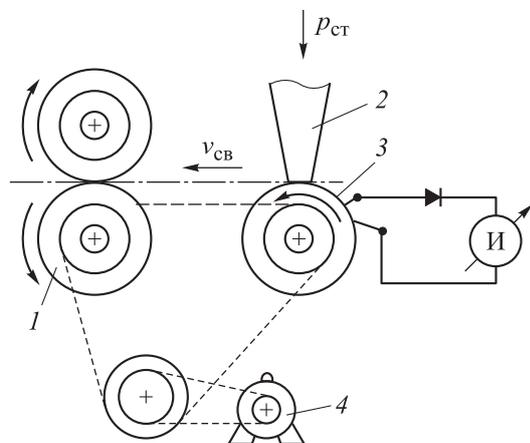


Рис. 3. Электрокинематическая схема сварочной машины УПШ-19

ультразвуковые колебания вводятся в свариваемые изделия. Амплитуда колебаний торца волновода $A = 25$ мкм. Площадь пятна контакта волновода $S = 16$ мм² (ширина торца волновода — 2 мм, его длина в направлении сварки — 8 мм).

Ультразвуковой генератор ИЛ10-0,4 мощностью 400 Вт, разработанный фирмой «Ультразвуковая техника-ИНЛАБ» (г. Санкт-Петербург), изготовлен на базе полевых транзисторов с возможностью оперативного регулирования всех рабочих параметров. Он оснащен системой плавного регулирования акустической мощности, цифровым частотомером, аналоговым индикатором резонанса акустической системы, источником поляризации (с выходной силой тока до 30 А) и системой фазовой автоподстройки частоты ультразвуковых колебаний. Охлаждение генератора — воздушное принудительное.

В настоящее время исследованию шовной УЗС на вращающемся ролике уделяется основное внимание. Однако сварка ПП, имеющих в исходном состоянии разнотолщинность, с чем довольно часто приходится сталкиваться на практике, приводит к появлению брака. Это обусловлено тем, что в местах, где суммарная толщина свариваемой ПП оказывается меньше номинальной (исходя из которой устанавливается зазор между рабочим торцом волновода и роликом-опорой) образуется непровар, а в зонах с большей толщиной — прожог ПП.

Поэтому наиболее перспективной следует считать шовную УЗС на вращающемся ролике-опоре с фиксированным зазором и автостабилизацией толщины шва [9–11].

Основная особенность УЗС с автостабилизацией толщины шва — деформация материала под рабочим торцом волновода, обусловленная термоползучестью и выдавливанием пластицированного материала из сварочной зоны.

Явление автостабилизации толщины шва, по-видимому, можно объяснить следующим образом. В процессе термоползучести и вытеснения пластицированного материала происходит приближение холодного рабочего торца волновода к зоне максимального тепловыделения. Это вызывает увеличение теплоотода из сварочной зоны. При некоторой определенной остаточной толщине шва устанавливается динамическое равновесие между тепловыделением и теплоотводом, или даже количество отво-

димой теплоты превалирует над количеством теплоты, выделяемой вследствие гистерезисных потерь. В результате температура в сварочной зоне становится ниже, чем в вязкотекучем состоянии, и дальнейшее утонение шва прекращается [6, 9, 10].

При исследовании влияния продолжительности образования швов варьировали линейную скорость сварки в диапазоне $v_{св} = 1...4$ м/мин, что соответствовало при указанной длине пятна контакта торца волновода продолжительности нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св} = 0,48...0,12$ с.

Зависимость прочности шва от времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле при испытании на раздирание с амплитудой колебаний $A = 25$ мкм приведена на рис. 4.

Как видно из графика, минимальное время нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле составляет 0,12 с. При увеличении этого времени прочность шва возрастает, а в интервале $t_{св} = 0,24...0,48$ с становится постоянной. Последнее обусловлено тем, что в этом интервале времени полезное количество полимера, участвующего в образовании шва, уже выплавлено, вследствие чего выдержка образцов в ультразвуковом поле более 0,24 с становится бессмысленной [6, 10, 11].

Зависимости прочности шва σ от статического давления $p_{ст}$ при испытании на раздирание с амплитудой колебаний $A = 25$ мкм и временем нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св} = 0,48, 0,24, 0,16$ и $0,12$ с приведены на рис. 5. На основании этих зависимостей можно констатировать, что максимальной прочности шва при разной продолжи-

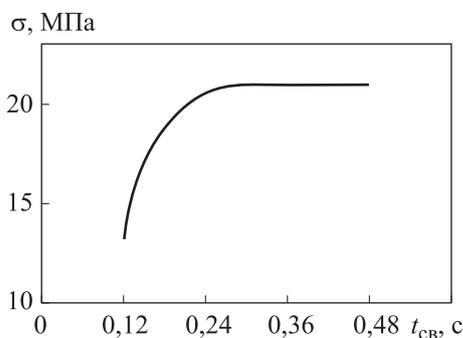


Рис. 4. Зависимость прочности шва σ от времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св}$ при испытании на раздирание с амплитудой колебаний $A = 25$ мкм

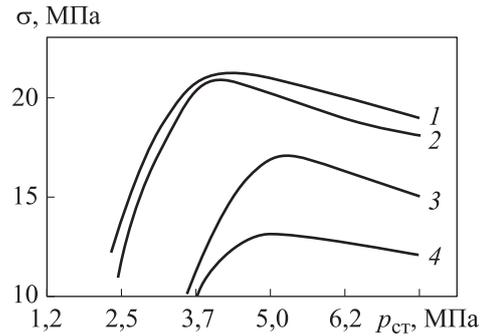


Рис. 5. Зависимости прочности шва σ от статического давления $p_{ст}$ при испытании на раздирание с амплитудой колебаний $A = 25$ мкм и временем нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св} = 0,48$ (1), $0,24$ (2), $0,16$ (3) и $0,12$ с (4)

тельности сварки соответствует оптимальное статическое давление. С уменьшением времени нахождения соединяемых участков ПП в ультразвуковом поле оптимальное статическое давление повышается.

Методом микроскопического фотографирования на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана получена кинетика образования шва и околошовной зоны при амплитуде колебаний $A = 25$ мкм, времени сварки $t_{св} = 0,12$ с и различных значениях статического давления.

При статическом давлении, меньшем оптимального (1,2 МПа), не обеспечивается нужный акустический контакт как между свариваемыми ПП, так и между ПП и опорой. И хотя происходит некоторое расплавление соединяемых участков будущего шва, его прочность равна нулю.

Наблюдается некоторое расплавление только верхней ПП, находящейся под торцом волновода, так как из-за плохого акустического контакта между соединяемыми поверхностями ПП образуется воздушный зазор, через который ультразвуковая энергия не проходит к соединяемой поверхности нижней ПП [12, 13].

При статическом давлении, большем оптимального (свыше 5 МПа) несколько снижается акустическое сопротивление переходной зоны свариваемых ПП, температура текучести полимеров падает, что приводит к уменьшению диффузии на границе соединяемых образцов и прочности шва [3, 14].

При оптимальном статическом давлении обеспечивается нужный акустический контакт между свариваемыми образцами, торцом вол-

новода и опорой, увеличивается диффузия в пограничных областях.

Все это способствует образованию более прочного шва, а вследствие процесса термолучности происходит наибольшее утонение соединяемых ПП в зоне сварки.

Для исследования влияния амплитуды колебаний на процесс образования шва рассчитывали и изготавливали ступенчатые волноводы цилиндрической формы с различными коэффициентами усиления на торцах [6, 8].

Амплитуда колебаний на первой ступени торца волновода достигала 10 мкм, поэтому при использовании набора волноводов, выполненных из алюминиевого сплава Д-16, варьировали амплитуду колебаний на их торце в широких пределах [3].

Зависимость времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св}$ от амплитуды колебаний торца волновода A при постоянном пятне его контакта приведена на рис. 6. Видно, что (при постоянной прочности шва на раздираение, равной 1,3 МПа) с уменьшением амплитуды колебаний торца волновода растет время нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле, вследствие чего уменьшается скорость шовной УЗС. Так, времени $t_{св1} = 0,12$ с соответствует скорость сварки $v = 4$ м/мин, $t_{св2} = 0,193$ с — $v_{св} = 2,5$ м/мин, $t_{св3} = 0,32$ с — $v_{св} = 1,5$ м/мин, $t_{св4} = 0,96$ с — $v_{св} = 0,5$ м/мин.

Для исследования влияния площади пятна контакта волновода S рассчитывали [2] и изготавливали экспоненциальные волноводы с коэффициентом усиления 4,7 и различной длиной торца. Ширина торца волноводов составляла 2 мм. Длина торца волновода, равная 60 мм, является предельной для частоты $f = 22$ кГц, так как очень трудно получить продольные волны, если один из поперечных размеров стержня колебательной системы превышает 1/3 длины волны в его материале [4, 12].

Зависимость скорости шовной УЗС $v_{св}$ от длины пятна контакта торца волновода l при амплитуде колебаний торца волновода $A = 25$ мкм и времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св} = 0,12$ с приведена на рис. 7.

Видно, что с увеличением длины пятна контакта торца волновода линейно повышается скорость шовной УЗС при заданной прочности шва. Однако необходимо отметить, что при возрастании длины пятна контакта торца волно-

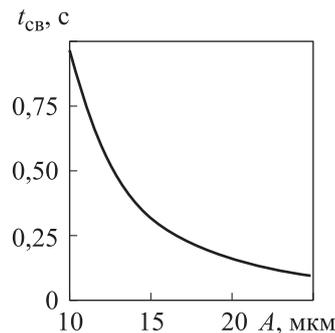


Рис. 6. Зависимость времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св}$ от амплитуды колебаний торца волновода A при постоянном пятне его контакта

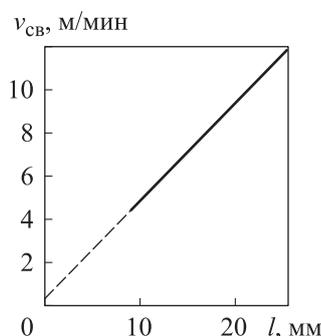


Рис. 7. Зависимость скорости шовной УЗС $v_{св}$ от длины пятна контакта торца волновода l при амплитуде колебаний торца волновода $A = 25$ мкм и времени нахождения свариваемых участков ПП в ультразвуковом поле $t_{св} = 0,12$ с

да растет статическое давление, а также мощность, потребляемая ультразвуковым сварочным узлом в режиме УЗС и на холостом ходу.

Вследствие роста статического давления и мощности, потребляемой сварочным узлом в режиме УЗС, происходит увеличение потерь мощности в нем и сильный разогрев никелевого преобразователя. Последнее требует применения активного охлаждения [9, 13].

Анализ результатов проведенного исследования показывает, что параметрами, определяющими производительность шовной УЗС ПП при оптимальном статическом давлении и постоянной частоте колебаний, являются амплитуда колебаний и длина торца волновода в направлении сварки [8].

Под действием амплитуды колебаний торца волновода в соединяемых ПП выделяется теплота. Для образования сварных соединений ПП должно быть выделено определенное количество тепловой энергии, необходимое для при-

ведения некоторого объема полимера в вязко-текущее состояние. Эта энергия, определяемая амплитудой колебаний и длиной торца волновода, зависит от теплофизических свойств (теплоемкости, температуры текучести и т. п.) ПП и объема полимера, принимающего участие в образовании шва [6, 14].

Выводы

1. Установлено, что с увеличением длины пятна контакта торца волновода линейно по-

вышается скорость шовной УЗС при хорошей заданной прочности сварного соединения.

2. Определена кинетика образования сварных соединений и околосшовной зоны, полученных при различных значениях статического давления, амплитуды колебаний волновода и времени УЗС.

3. Для исследования влияния амплитуды колебаний волновода на процесс образования сварных соединений рассчитаны и изготовлены ступенчатые волноводы.

Литература

- [1] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 374 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. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Weld. Int.*, 2011, vol. 25, no. 11, pp. 898–902, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.581433>
- [4] Волков С.С. Влияние режима ультразвуковой шовной сварки полимерных пленок на образование швов и производительность процесса. *Сварочное производство*, 2013, № 11, с. 38–42.
- [5] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 9, pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [6] Волков С.С. Энергетические показатели работы акустического узла при ультразвуковой сварке. *Сварка и диагностика*, 2012, № 6, с. 40–44.
- [7] Волков С.С., Прилуцкий М.А. Влияние тепловых процессов на свариваемость АБС-пластика ультразвуком. *Сварка и диагностика*, 2015, № 3, с. 34–38.
- [8] Волков С.С., Коновалов А.В., Выборнов А.П. Методика расчета параметров режима ультразвуковой сварки изделий из полимерных материалов. *Сварка и диагностика*, 2016, № 2, с. 35–39.
- [9] Кархин В.А. *Тепловые процессы при сварке*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического ун-та, 2013. 646 с.
- [10] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastic. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 1, pp. 63–66, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.695155>
- [11] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Weld. Int.*, 2016, vol. 30, no. 6, pp. 492–496, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1090180>
- [12] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding on the fracture force of non-woven materials. *Weld. Int.*, 2005, vol. 19, no. 6, pp. 484–489, doi: <https://doi.org/10.1533/wint.2005.3473>
- [13] Volkov S.S. Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes. *Weld. Int.*, 2009, vol. 23, no. 10, pp. 789–795, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110903092993>
- [14] Volkov S.S. Ultrasound contour welding of polymer packages containing food products. *Weld. Int.*, 2009, vol. 23, no. 3, pp. 213–218, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110902784087>

References

- [1] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 374 p. (In Russ.).
- [2] Volkov S.S. Power distribution in an ultrasonic welding system during welding of polymer films. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2012, no. 10, pp. 42–46. (In Russ.).

- [3] Volkov S.S. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Weld. Int.*, 2011, vol. 25, no. 11, pp. 898–902, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.581433>
- [4] Volkov S.S. Influence of ultrasonic seam welding mode of polymer films on seam formation and process productivity. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 11, pp. 38–42. (In Russ.).
- [5] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 9, pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [6] Volkov S.S. Energy performance of the acoustic unit during ultrasonic welding. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2012, no. 6, pp. 40–44. (In Russ.).
- [7] Volkov S.S., Prilutskiy M.A. Influence of thermal processes on weldability of ABS plastic by ultrasonics. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2015, no. 3, pp. 34–38. (In Russ.).
- [8] Volkov S.S., Konovalov A.V., Vybornov A.P. Methodology for calculating the parameters of ultrasonic welding mode of products made of polymeric materials. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2016, no. 2, pp. 35–39. (In Russ.).
- [9] Karkhin V.A. *Teplovye protsessy pri svarke* [Thermal processes during welding]. Sankt-Petersburg, Izd-vo Politehnicheskogo un-ta Publ., 2013. 646 p. (In Russ.).
- [10] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastic. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 1, pp. 63–66, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.695155>
- [11] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Weld. Int.*, 2016, vol. 30, no. 6, pp. 492–496, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1090180>
- [12] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding on the fracture force of non-woven materials. *Weld. Int.*, 2005, vol. 19, no. 6, pp. 484–489, doi: <https://doi.org/10.1533/wint.2005.3473>
- [13] Volkov S.S. Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes. *Weld. Int.*, 2009, vol. 23, no. 10, pp. 789–795, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110903092993>
- [14] Volkov S.S. Ultrasound contour welding of polymer packages containing food products. *Weld. Int.*, 2009, vol. 23, no. 3, pp. 213–218, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110902784087>

Статья поступила в редакцию 07.11.2023

Информация об авторах

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

КОНОВАЛОВ Алексей Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: avk@bmstu.ru).

КОБЕРНИК Николай Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: koberniknv@bmstu.ru).

Information about the authors

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

KONOVALOV Alexey Viktorovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Welding, Diagnostics and Special Robotics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: avk@bmstu.ru).

KOBERNIK Nikolay Vladimirovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Welding, Diagnostics and Special Robotics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: koberniknv@bmstu.ru).

СУДАРЕВ Алексей Владимирович — старший преподаватель кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sudarev@bmstu.ru).

SUDAREV Alexey Vladimirovich — Senior Lecturer, Department of Welding, Diagnostics and Special Robotics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: sudarev@bmstu.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Коновалов А.В., Коберник Н.В., Сударев А.В. Влияние параметров шовной ультразвуковой сварки пленок на процесс образования сварных соединений. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 6, с. 76–84.

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Konovalov A.V., Kobernik N.V., Sudarev A.V. Influence of parameters of ultrasonic seam welding of films on the process of formation of welded joints. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 6, pp. 76–84.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебное пособие А.А. Забровской
«Профессионально-ориентированный перевод.
Английский язык»**

Представлены материалы для лекционных и семинарских занятий, предназначенные для аудиторной и внеаудиторной работы студентов над профессионально-ориентированным английским языком в области перевода. Цель данного пособия — формирование и закрепление теоретических знаний, а также практических навыков, необходимых для выполнения профессионально-ориентированного перевода. Подобраны аутентичные англоязычные материалы по наиболее востребованным темам для будущих переводчиков в сфере профессиональной коммуникации. Каждый из трех модулей включает теоретическую часть и задания на формирование навыков перевода с английского языка на русский и обратно в англоязычном профессиональном дискурсе.

Для магистрантов 2-го курса, обучающихся по направлению подготовки 45.03.02 «Лингвистика» в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

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; <https://press.bmstu.ru>