

# Технология и технологические машины

УДК 621.791.16

DOI 10.18698/0536-1044-2017-6-58-65

## Разработка технологии ультразвуковой сварки многослойных полимерных пленок

**С.С. Волков<sup>1</sup>, А.Л. Ремизов<sup>1</sup>, Л.А. Шестель<sup>2</sup>**<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1<sup>2</sup> Омский государственный технический университет, 644050, Омск, Российская Федерация, пр-т Мира, д. 11

## Developing Ultrasonic Welding Technology for Multilayer Polymeric Films

**S.S. Volkov<sup>1</sup>, A.L. Remizov<sup>1</sup>, L.A. Shestel<sup>2</sup>**<sup>1</sup> BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1<sup>2</sup> Omsk State Technical University, 644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11

e-mail: ssv@bmstu.ru, remizoff.andrew@mail.ru, weldtechn@mail.ru



Рассмотрены свойства некоторых многослойных полимерных пленок, а также способы их сварки. Обоснован выбор способа ультразвуковой сварки таких пленок, указаны его преимущества. В результате проведенных экспериментов по сварке ультразвуком многослойных полимерных пленок определены их прочностные, теплофизические, химические и другие характеристики. Разработаны и изготовлены ультразвуковые сварочные устройства и волноводы-инструменты, с помощью которых были достигнуты хорошие прочностные показатели и внешний вид изделий. Отработаны оптимальные режимы ультразвуковой сварки многослойных полимерных пленок. При сварке трехслойного материала определен механизм этого процесса. Получение качественных соединений обусловлено объемным взаимодействием связей между макромолекулами свариваемых пленок. В результате проведенной работы повышена производительность процесса ультразвуковой сварки многослойных пленок с обеспечением необходимой прочности соединений.

**Ключевые слова:** ультразвуковая сварка, многослойные полимерные пленки, амплитуда колебаний волновода, вращающийся ролик-опора, прочность сварных соединений, фиксированный зазор.



The paper discusses some properties of multilayer polymer films, as well as their welding methods. The choice of method for ultrasonic welding of multilayer polymer films is justified, and the advantages of the method are listed. Strength, thermal, chemical and other characteristics of multilayer polymer films were determined as the result of ultrasonic welding experiments. The authors developed and manufactured ultrasonic welding devices and waveguides, which provided good strength properties and appearance of the products. Optimal modes of ultrasonic welding of multilayer polymer films were developed and tested. The mechanism of welding three-layer material was determined. The quality of the welded joints was dependent upon spatial interaction

between macromolecules of the welded films. As the result of this work, the efficiency of the process of ultrasonic welding of multilayer films was increased while providing the necessary strength of the welded joints.

**Keywords:** ultrasonic welding, multilayer polymeric film, amplitude of waveguide oscillations, rotating roller-support, strength of welded joints, fixed gap.

Расширение области применения полимерных пленок в различных отраслях промышленности обуславливает увеличение требований к их физико-химическим и механическим свойствам, которые во многих случаях можно обеспечить лишь использованием сложных многослойных полимерных пленок (МПП). Такие пленки востребованы при изготовлении одежды для химзащиты, эластичных емкостей, создании защитных полимерных оболочек химической аппаратуры и других изделий, работающих в химически агрессивных средах.

Конструкции МПП, состоящих из несущих жестких слоев с относительно высокой температурой плавления и низкопрочных мягких слоев, накладывают некоторые особенности на технологию сварки, поскольку в зоне их соединения одновременно находятся слои с различными теплофизическими и прочностными характеристиками.

В настоящее время сварку таких пленок проводят с образованием соединений по мягким слоям, расположенным обычно снаружи. Основное требование, предъявляемое к соединениям, — высокая прочность при многократных изгибах и знакопеременных нагрузках, соизмеримая с таковой у несущего слоя, что можно обеспечить лишь сваркой многослойных пленок по несущим жестким слоям [1, 2].

МПП отвечают требованиям основных эксплуатационных свойств, например, полной химической инертности к рабочей среде, но при их сварке, как правило, возникают трудности. Это объясняется высокой степенью модификации материала, снижающей свариваемость МПП, которая ухудшается вследствие наличия в зоне соединения нескольких слоев, резко различающихся по теплофизическим и физико-механическим свойствам. Анализ научно-технической литературы показал, что наиболее приемлемой сваркой является ультразвуковая.

Однако существующие схемы ультразвуковой сварки (УЗС) МПП не всегда обеспечивают предъявляемые к изделиям требования по прочности, стабильности качества создаваемых соединений [1–3].

Цель работы — получение высококачественных сварных соединений при УЗС изделий из МПП.

В связи с этим совершенствование процесса УЗС изделий из МПП и разработка оборудования для его реализации — весьма своевременная и важная задача. Правильный выбор способа сварки того или иного полимерного материала зависит прежде всего от его свойств и толщины, характера изделия, а также требований, предъявляемых к качеству соединений и технико-экономическим характеристикам процесса [4, 5].

Необходимо рассмотреть свойства распространенных многослойных полимерных пленочных материалов, так как создаваемые на их основе путем введения различных добавок новые многослойные типы показателей качества их соединений значительно расширяют эксплуатационные возможности изделий, выполненных из них. Наиболее востребованными в индустрии являются полиэтиленовые, полипропиленовые, полиамидные, поликарбонатные и полиэтилентерефталатные (лавсановые) пленки [1, 4].

Широкое применение полимерных пленок разнообразит требования к их свойствам. Обычно пленки одного вида не могут удовлетворять большому количеству требований, поэтому все чаще стали использовать многослойные пленки, имеющие три слоя и более [2, 3]. Особенность многослойных или дублированных пленок заключается в сочетании специфических свойств их отдельных слоев, причем недостатки одного из них компенсируются достоинствами другого. В состав таких пленок, как правило, входят несущий жесткий слой, обладающий высокими механическими свойствами, и мягкий функциональный слой, выполняющий, например, защитную функцию в агрессивных средах [6, 7].

Одним из важных свойств функциональных слоев многослойных пленок, определяющих их конструктивную целесообразность и практическую ценность, является то, что они обеспечивают требования повышенной стойкости про-

тив химических, радиационных и других воздействий на пленки в целом. Для этого в них вводят соответствующие компоненты, улучшающие указанные свойства.

Эту роль в многослойных пленочных системах чаще всего выполняет полиэтилентерефталатная пленка толщиной 20...60 мкм. Для повышения механических свойств такой пленки проводят двухосную ориентацию полимерных цепей путем ее вытяжки при температуре 80...90 °С с последующей термической обработкой при температуре 180...200 °С. В результате образования микрокристаллической структуры и стабилизации макромолекул пленка становится прочной. Ориентация повышает механическую прочность пленки [8].

В состав вопросов, решаемых при разработке МПП, входят соединение отдельных слоев и создание между ними высокой адгезионной прочности, так как без применения специальных приемов сварка пленок осуществляется по наружным функциональным слоям.

Многослойные пленки используют главным образом в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов, в фармацевтической и военной промышленности [1, 2]. Многослойными системами являются фото- и кинопленки, в которых на основу из ацетата целлюлозы или полиэтилентерефталата нанесены различные слои, выполняющие разнообразные функции. Как правило, это информационные слои (или слой) [9], имеющие относительно основы малую прочность и низкую температуру плавления. Общая толщина эмульсионных слоев составляет 20...35 мкм, толщина основы фотопленок — не более 150 мкм, а ширина применяемой в промышленности фотопленки — 35 мм.

Перед химико-фотографической обработкой и в процессе монтажа куски фотопленок необходимо быстро (за 2...4 с) и надежно соединить между собой металлическими скрепками и зажимами с помощью клеев и ультразвука. Швы должны быть высокопрочными и эластичными.

Разнообразие МПП по реологическим свойствам и многообразие конструкций из пленок по форме, размерам и условиям работы обусловили разработку различных способов их сварки. Анализ научно-технической литературы [3–6] показал, что в настоящее время основными из них являются контактно-тепловая сварка, сварка токами высокой частоты (ТВЧ) и УЗС [1, 2].

При контактно-тепловой сварке МПП нагрев соединяемых поверхностей происходит

вследствие контакта с нагревательным (сварочным) инструментом. При соединении пленочных материалов применяют сварку внахлестку, чаще всего проплавлением, при которой нагревательный инструмент контактирует с внешними поверхностями пленок и его теплота передается к свариваемым поверхностям вследствие теплопроводности сквозь их толщину. Такой способ имеет следующие недостатки: необходимость применения технологических прокладок, значительное влияние разнотолщинности свариваемого материала и загрязненности соединяемых поверхностей на качество шва.

Сварка ТВЧ характеризуется высокой производительностью при обработке поливинилхлорида, но она неприменима для неполярных полимерных материалов (полиэтилена, полипропилена, фторопласта). Недостатком такого способа также является ограничение соединяемых пленочных материалов по толщине [2, 9].

УЗС МПП находит все большее распространение благодаря нечувствительности этого процесса к разнотолщинности пленок, возможности качественной сварки ориентированных пленок и получению качественного соединения последних с загрязненными или имеющими покрытие свариваемыми поверхностями. Кроме того, УЗС отличает весьма высокая производительность [10].

При УЗС электрические колебания ультразвуковой частоты (20...50 кГц), вырабатываемые генератором, с помощью магнитострикционного или пьезокерамического преобразователя превращаются в механические и через присоединенные к нему трансформатор упругих колебаний и волновод передаются в соединяемый материал. Введение ультразвуковых механических колебаний в контактируемые материалы приводит к их быстрому нагреву с преимущественным ростом температуры на связываемых поверхностях. Нагрев обусловлен поглощением энергии механических колебаний в объеме материала, находящегося под волноводом, а также поглощением энергии в свариваемом контакте и контакте полимерные пленки-волновод-инструмент [6, 7].

Поскольку в процессе УЗС волновод-инструмент и опора остаются практически холодными, а разогрев материала происходит в основном на соединяемых поверхностях, ультразвуковым способом можно сваривать материалы, в значительной степени ориентирован-

ные в процессе их переработки (полиэтиленрефталатные, полиэтиленовые, полипропиленовые, полиамидные и др.), без заметного нарушения их формы.

Среди способов сварки МПП ультразвуком основное внимание уделяется исследованию шовной УЗС «на протяг» и на вращающемся ролике-опоре (рис. 1). В последнем случае опорой для ультразвукового волновода-инструмента 1 служит ролик-опора 5, который приводится во вращение приводом, расположенным в сварочной машине, где для обеспечения подачи соединяемых пленок предусмотрены тянущие механизмы.

При сварке МПП особое внимание следует обращать на геометрические размеры, материал и форму заточки рабочего торца волновода-инструмента. Оптимальной является заточка типа «отвертки» с радиусом закругления около 1 мм (рис. 2).

При большем радиусе закругления требуется значительное усилие прижима для создания необходимого статического давления на свариваемые пленки. Сварку можно выполнять как широкой, так и узкой гранью волновода-инструмента при перемещении пленок в направлении *a* и *b* соответственно. В последнем случае скорость процесса несколько выше, однако больше вероятность образования подрезов материала в околошовной зоне. Сферическая форма заточки позволяет проводить сварку с наименьшим ослаблением околошовной зоны и более равномерно передавать усилие прижатия на соединяемые поверхности пленочного материала.

Для сварки МПП можно использовать ручную УЗС скользящим инструментом и непрерывную механизированную. Шовно-шаговая механизированная сварка обеспечивает небольшую производительность процесса, поэтому основное внимание уделяется исследованию шовной сварки «на протяг» и на вращающемся ролике. При этом, как правило, сварку выполняют с фиксированным зазором. Однако при соединении пленок, имеющих в исходном состоянии разнотолщинность (с чем довольно часто приходится сталкиваться на практике), такая сварка приводит к появлению брака. Поэтому наиболее перспективной следует считать шовную УЗС на вращающемся ролике с постоянным давлением [3].

В целях исследования процесса, отработки режимов УЗС МПП и конструкции оборудова-

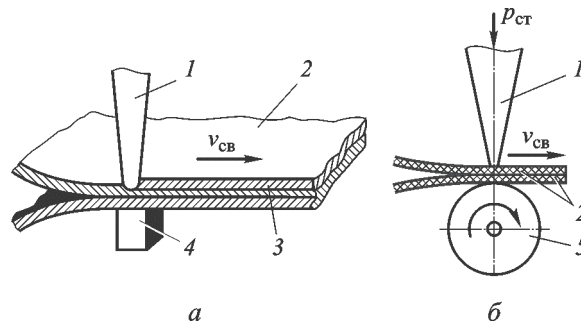


Рис. 1. Схемы шовной УЗС «на протяг» (а) и на вращающемся ролике-опоре (б): 1 — волновод-инструмент; 2 — свариваемые пленки; 3 — сварной шов; 4 — неподвижная опора; 5 — ролик-опора;  $v_{св}$  — скорость сварки;  $p_{ст}$  — сварочное статическое давление

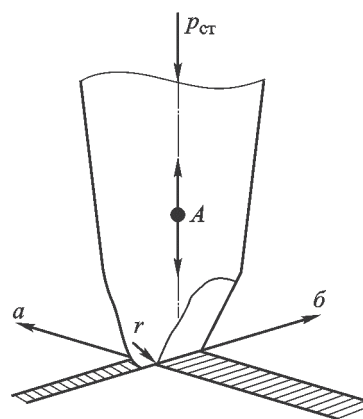


Рис. 2. Формы заточки рабочего торца волновода-инструмента

ния специалисты кафедры сварочного производства Омского государственного технического университета совместно с кафедрой «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработали экспериментальную установку УЗУ-1Л для непрерывной сварки на вращающемся ролике изделий, выполненных из одно- и многослойных пленок [1, 3]. Отличительная особенность установки — оригинальная конструкция транспортирующего узла, обеспечивающего автоматическое регулирование и изменение радиуса кривизны швов в процессе УЗС. В качестве источника питания магнотрикссионного сварочного узла использован серийно выпускаемый компанией «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» (г. Санкт-Петербург) ультразвуковой генератор типа ИЛ10-1,5 с расширенным диапазоном частот 20...60 кГц.

Основной особенностью УЗС МПП при постоянном давлении является деформация материала под рабочим торцом волновода, обуслов-

ленная его термоползучестью и выдавливанием из сварочной зоны. Результаты исследований срезов швов показали, что на границе между вытесненным из-под инструмента, нагретым и основным материалами образуется подплавление последнего. Кроме того, напряжения в сварных швах при работе соединения на сдвиг и расслаивание распределены так, что коэффициент их концентрации в околошовной зоне имеет максимальное значение. При шовой сварке нагретый материал шва выходит из-под волновода-инструмента в вязкотекучем состоянии, и напряжения, возникающие в изделии, воздействуя на околошовную зону утоняют материал. На основании этого можно сделать вывод, что упрочнение околошовной зоны обеспечивает значительное повышение прочности сварного соединения. Один из способов упрочнения околошовной зоны — применение волновода-инструментов, позволяющих формировать упрочняющий валик из расплавленного вытесненного материала.

Разработаны и изготовлены два рабочих волновода-инструмента, сечения рабочих торцов которых и швов, получаемых при сварке, приведены на рис. 3. При работе волновода-инструментов происходит разогрев полимерного материала в зоне 1 и вытеснение его под действием статического давления в зону 2.

Поскольку в зоне 2 сварочное статическое давление  $p_{ст}$  отсутствует, материал в ней остается холодным и, взаимодействуя с вытесненным расплавленным материалом, охлаждает последний. Кроме того, происходит охлаждение валика поверхностью волновода-инструмента, а также уплотнение и некоторая защита от окисления воздухом расплава вследствие того, что он некоторое время находится в замкнутой зоне. Канавку на торце волновода выполняют

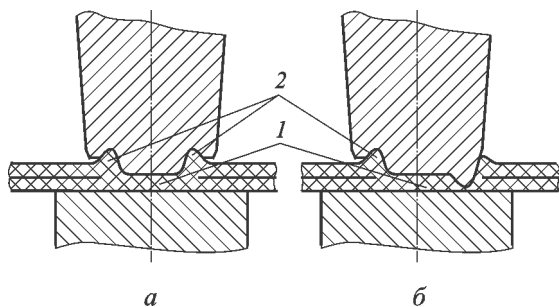


Рис. 3. Сечение швов МПП при сварке в середине изделия (а) и краевых швов с отрезанием края (б) волноводом-инструментом с формирующей шов поверхность

так, чтобы одна часть вытесненного материала формировалась в валик, а другая поступала в зазор между пленками.

Помимо повышения прочности сварного соединения применение волновода-инструмента с формирующей шов рабочей поверхностью позволяет увеличить производительность процесса УЗС, а также расширить область оптимальных значений технологических параметров.

МПП обычно состоят из двух-трех слоев полимеров, имеющих разные по отношению друг к другу прочностные, теплофизические и другие характеристики. В данной работе проводились эксперименты по сварке МПП, где несущим слоем являлась полиэтилентерефталатная пленка, с двух сторон которой располагались слои, химически стойкие к определенным агрессивным средам [10]. Предел прочности при растяжении составлял 15 МПа, температура плавления  $T_{пл} = 220...230$  °С, толщина несущего слоя — 20...30 мкм.

В процессе УЗС МПП происходит соединение наружных слоев, у которых по сравнению с несущим слоем прочность незначительна. Задача состояла в сварке МПП по несущим слоям, что становится возможным, если в месте контакта удалить наружные слои и обеспечить прижатие несущего слоя к несущему.

В результате удалось повысить прочностные характеристики соединений при УЗС МПП путем удаления слоев в зоне их контакта и сварки по несущим слоям пазы, которые делят рабочий торец волновода-инструмента на несколько частей. При перемещении свариваемого материала каждый из рабочих участков выполняет определенную функцию: первый разогревает слои, второй очищает несущие пленки, третий проводит их сварку. Применение такого волновода-инструмента позволяет упростить конструкцию оборудования и проводить соединение МПП на вращающемся ролике или по схеме «на протяг» [1, 3].

УЗС можно рекомендовать в качестве способа сварки поликарбонатных, полипропиленовых, полиамидных и полиэтилентерефталатных многослойных пленок, для которых прочность создаваемых соединений на сдвиг составляет не менее 70 % прочности основного материала. Хуже свариваются пленки на основе полиэтилена низкого и высокого давления, для которых прочность соединений на сдвиг не превышает 50 % прочности основного материала. Однако широкое применение МПП в про-

мышленности, разработка новых модифицированных типов многослойных пленок на основе полиэтилена и изделий из них с криволинейными швами большой длины делают необходимым проведение сварки МПП ультразвуком, так как решить такие задачи другими способами сварки не представляется возможным.

Известно, что основными параметрами процесса УЗС МПП являются:  $A$  — амплитуда ультразвуковых колебаний рабочего торца волновода-инструмента;  $f$  — частота колебаний;  $p_{ст}$  — сварочное статическое давление;  $v_{св}$  — скорость сварки;  $\delta$  — фиксированный зазор между торцом волновода и опорой.

Все перечисленные параметры тесно взаимосвязаны между собой и в одинаковой мере влияют как на прочностные характеристики создаваемых соединений, так и на производительность процесса. При УЗС МПП первые три параметра имеют следующие оптимальные значения:  $A = 25...30$  мкм;  $f = 22$  кГц;  $p_{ст} = 0,5...1,0$  МПа.

В то же время значительный интерес с точки зрения технико-экономических показателей разрабатываемого процесса шовной УЗС на вращающемся ролике вызывает влияние скорости сварки и фиксированного зазора на прочностные показатели швов и стабильность качества по их длине.

Обработку режимов сварки выполняли на ультразвуковой сварочной установке УЗУ-1Л. Эксперименты проводили на МПП толщиной 150 мкм. При этом амплитуду волновода-инструмента устанавливали путем изменения мощности генератора ИЛ10-1,5. Скорость сварки определяли измерением длины шва и времени сварки (по электросекундомеру), а фиксированный зазор — с помощью пластинчатых щупов.

Влияние исследуемых параметров процесса УЗС оценивали визуальным осмотром полученных швов и испытанием их на расслаивание, которое проводили на разрывной машине с максимальной нагрузкой 0,5 МПа и постоянной скоростью перемещения подвижного зажима 200 мм/мин.

В процессе сварки образцов использовали ультразвуковые волноводы-инструменты ножевого типа с плоским рабочим торцом и сложным рельефом поверхности, обеспечивающим формирование шва из полученного расплава полимера.

Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 4, где видно, что прочность

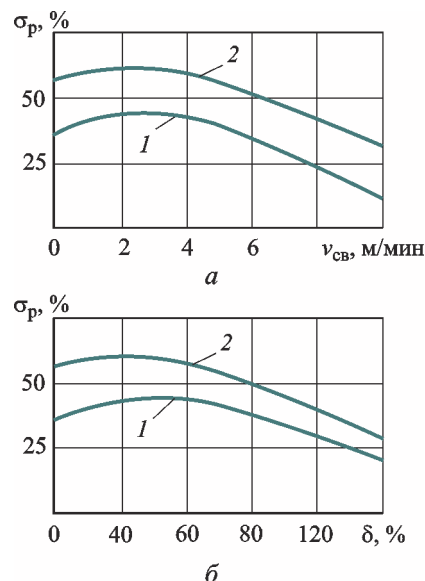


Рис. 4. Зависимости прочности  $\sigma_p$  соединения от скорости сварки  $v_{св}$  (а) и фиксированного зазора  $\delta$  между волноводом-инструментом и роликовой опорой (б) при УЗС волноводом-инструментом с плоской (1) и формирующей (2) рабочей поверхностью

созданных соединений при изменении скорости сварки и фиксированного зазора имеет область экстремальных значений, максимальные из которых составляют 60...70 % прочности основного материала. Кроме того, использование волноводов-инструментов с формирующей шов поверхностью позволяет повысить прочность соединений на 15...20 % по сравнению с таковой у швов, полученных при сварке волноводом-инструментом с плоским торцом.

Анализ срезов полученных швов показал, что при сварке волноводом-инструментом с формирующей рабочей поверхностью количество полимера, вытесненного из шва в околошовную зону, более постоянно по длине шва и имеет меньше дефектов (подрезов, концентраторов напряжений). Прочность сварного соединения можно повысить, применяя проковку и охлаждение сформированного валика сразу после УЗС.

## Выводы

1. Разработанный волновод-инструмент с продольными пазами, которые делают рабочий торец на несколько частей и формируют вытесняемый при сварке из-под волновода материал в виде валика, упрочняя тем самым околошовную зону, позволяет выполнять сварные соеди-

нения МПП на вращающемся ролике или по схеме «на протяг».

2. Применение волновода-инструмента с формирующей сварной шов рабочей поверхностью позволяет значительно повысить прочность получаемых соединений МПП, производительность процесса УЗС, а также расширить

область оптимальных значений технологических параметров.

3. Прочность созданных соединений при изменении как скорости сварки, так и фиксированного зазора составляет 60...70 % прочности основного материала.

## Литература

- [1] Волков С.С., Соколов В.А., Шестель Л.А. Технология и оборудование для сварки эластичных емкостей из пленочного фторопласта-4МБ. *Сварка и диагностика*, 2013, № 3, с. 52–55.
- [2] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [3] Волков С.С. Влияние режима ультразвуковой шовной сварки пленок на образование швов и производительность процесса. *Сварочное производство*, 2013, № 11, с. 38–42.
- [4] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasonic welding on the fracture of force of non-woven materials. *Welding international*, 2005, no. 19(6), pp. 484–489.
- [5] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. *Welding international*, 2003, no. 17(6), pp. 482–486.
- [6] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Welding International*, 2001, no. 15(7), pp. 583–584.
- [7] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 163–166.
- [8] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(7), pp. 720–724.
- [9] Люшинский А.В. *Диффузионная сварка разнородных материалов*. Москва, Академия, 2006. 208 с.
- [10] Алешин Н.П., Чернышов Г.Г. *Сварка. Резка. Контроль: справочник*. В 2 т. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2004. 624 с.

## References

- [1] Volkov S.S., Sokolov V.A., Shestel' L.A. Tekhnologiya i oborudovanie dlia svarki elastichnykh emkosteï iz plenochnogo ftoroplasta-4MB [Problem rise of quality of weld on film from fluoroplastic, use for manufacture elastic capacity for system analysis gas industrial origin]. *Svarka i diagnostika* [Welding and diagnostics]. 2013, no. 3, pp. 52–55.
- [2] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiia publ., 2001. 376 p.
- [3] Volkov S.S. Vliianie rezhima ul'trazvukovoi shovnoi svarki plенок na obrazovanie shvov i proizvoditel'nost' protsessa [Effect of the ultrasonic seam welding conditions of polymer films on seam formation and process flow]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2013, no. 11, pp. 38–42.
- [4] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasonic welding on the fracture of force of non-woven materials. *Welding international*, 2005, no. 19(6), pp. 484–489.
- [5] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. *Welding international*, 2003, no. 17(6), pp. 482–486.
- [6] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Welding International*, 2001, no. 15(7), pp. 583–584.
- [7] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 163–166.
- [8] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(7), pp. 720–724.
- [9] Liushinskii A.V. *Diffuzionnaia svarka raznorodnykh materialov* [The diffusion welding of dissimilar materials]. Moscow, Akademiia publ., 2006. 208 p.
- [10] Aleshin N.P., Chernyshov G.G. *Svarka. Rezka. Kontrol': spravochnik* [Welding. Cutting. Control: guide]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004. Vol. 1. 624 p.

Статья поступила в редакцию 20.03.2017

## Информация об авторах

**ВОЛКОВ Станислав Степанович** (Москва) — 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: ssv@bmstu.ru).

**РЕМИЗОВ Андрей Леонидович** (Москва) — 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: remizoff.andrew@mail.ru).

**ШЕСТЕЛЬ Леонид Александрович** (Омск) — 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: weldtechn@mail.ru).

## Information about the authors

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

**REMIZOV Andrey Leonidovich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Assistant Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: remizoff.andrew@mail.ru).

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



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет 3-е издание учебника  
под общей редакцией **А.Ю. Вараксина**

### «Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок»

Рассмотрена термодинамическая эффективность газотурбинных и комбинированных установок. Изложены основы проектирования стационарных, транспортных газотурбинных и комбинированных установок, газотурбинных установок на нетрадиционных источниках энергии (солнечных, ветровых). Даны примеры проектирования основных элементов авиационных газотурбинных двигателей. Рассмотрены современные тенденции развития стационарных и транспортных газотурбинных установок и газотурбинных двигателей, сформулированы технико-экономические требования, необходимые при проектировании установок различных типов.

В третьем издании (1-е — 1977 г., второе — 2000 г.) значительно расширен раздел по парогазовым установкам и установкам с возобновляемыми источниками энергии, добавлен материал по теории и проектированию авиационных двигателей и их применению в энергетических и транспортных установках, а также использованию в газотурбинных установках вторичных энергоресурсов. Сокращен материал по комбинированным установкам с магнетогидродинамическими генераторами и уменьшен объем материала по установкам периодического сгорания.

**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