

УДК 621.791.16

doi: 10.18698/0536-1044-2023-11-53-60

Технологические особенности ультразвуковой резки с одновременной сваркой изделий из пластмасс

С.С. Волков, А.В. Коновалов, А.С. Панкратов, Ю.А. Михайлова

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Technological features of ultrasonic cutting with simultaneous welding of the plastic products

S.S. Volkov, A.V. Konovalov, A.S. Pankratov, J.A. Mikayilova

Bauman Moscow State Technical University

Рассмотрен метод ультразвуковой резки пластмасс. Определена наиболее простая схема резки, позволяющая получать хорошие показатели производительности и качества резания с одновременной сваркой пластмасс. Установлено влияние основных параметров режима ультразвуковой резки на производительность процесса и качество разрезаемых и одновременно свариваемых пластмасс, удовлетворяющих техническим условиям. По принципу дозирования вводимой ультразвуковой механической энергии, а также с целью уменьшения износа режущей кромки волновод-инструмента предложены два варианта прессовой резки с одновременной сваркой полимерных материалов. Проведенный анализ методов резки полимерных материалов показал преимущества и целесообразность ультразвуковой резки с одновременной сваркой изделий из пластмасс перед другими методами резки. При выборе оптимального режима резки с одновременной сваркой использован метод анализа термодеформационных циклов. Установлено, что та или иная стадия деформирования четко коррелирует со структурными изменениями и температурой в зоне резания и сварки пластмасс. Выявлена возможность изготовления фильтр-комплектов фильеры методом ультразвуковой резки с одновременной сваркой.

Ключевые слова: ультразвуковая резка, волновод-инструмент, амплитуда ультразвуковых колебаний, статическое давление, фильтр-комплект, полимерные материалы

The paper considers a method of ultrasonic plastics cutting. It determines the simplest scheme in cutting plastics making it possible to obtain satisfactory productivity and cutting quality indicators with simultaneous plastics welding. Influence was established of the ultrasonic cutting mode main parameters on the process productivity and on the quality of cut and simultaneously welded plastics that meet the technical conditions. Based on the principle of dosing the introduced ultrasonic mechanical energy, as well as in order to reduce wear on the waveguide tool cutting edge, two options for press cutting with simultaneous welding of the polymer materials were proposed. The conducted analysis of methods in cutting the polymer materials showed advantages and feasibility of the ultrasonic cutting with simultaneous welding of the plastic products over the other cutting methods. When selecting the optimal cutting mode with simultaneous welding, the method of analyzing thermal deformation cycles was introduced. It was shown that one or another stage of deformation clearly correlates with structural alterations and temperature in the plastics cutting and welding zone. Possibility of manufacturing a filter set of a die using ultrasonic cutting with simultaneous welding was established.

Keywords: ultrasonic cutting, waveguide tool, ultrasonic vibrations amplitude, static pressure, filter set, polymer materials

Пластмассы — перспективные конструкционные материалы, используемые не только как заменители металлов, но и как самостоятельные материалы, обладающие многими положительными свойствами [1].

Увеличивающийся с каждым годом объем выпуска пластмасс, а также их широкое применение в машиностроении обуславливают совершенствование старых и разработку новых технологических процессов, их соединения и разделения.

Обычно детали из пластмасс получают литьем под давлением, штамповкой и прессованием, при которых происходит изменение их размеров и формы, связанное с усадкой материала при остывании. Наличие заусенцев, грата и литников после переработки пластмасс требует дополнительных операций механической обработки и резки с целью получения деталей точных форм и геометрических размеров [1, 2].

Так как пластмассы имеют широкий спектр физико-химических свойств, используют различные методы их резки: механическую нагретым инструментом, газовым теплоносителем, плазменную, лазерную, с применением токов высокой частоты и др. [2, 3]. Указанные методы резания, условно разделенные на механические и термические, имеют существенные недостатки.

Механическая резка характеризуется высокой производительностью, но требует широкой номенклатуры режущих инструментов, сопоставимой с таковой для применяемых материалов.

Операции механической обработки, такие как снятие заусенцев, грата, литников и разделка свариваемых кромок, как правило, выполняют вручную с помощью напильников и ножей — малопроизводительных режущих инструментов. Эти операции занимают большое количество рабочих и производственных площадей [3–5].

Кроме того, в зоне контакта режущего инструмента с изделием вследствие трения возникают прожоги и подплавления, царапины и следы инструмента, что вызывает необходимость дополнительной отделочной обработки изделия.

Применение для резки полимера внешних источников нагрева инструмента — газа или струи плазмы — приводит к перегреву, переплавлению и деструкции кромок, что делает невозможной последующую сварку деталей без

их дополнительной обработки, а также ухудшает внешний вид изделия [6–8].

Резка с использованием токов высокой частоты доступна только для полярных полимеров, у которых высок фактор диэлектрических потерь.

Лазерная резка требует сложного дорогостоящего оборудования, имеющего к тому же низкий коэффициент полезного действия.

Все перечисленные трудности делают необходимым разработку новых более производительных и эффективных технологических процессов обработки и резки пластмасс. В промышленности и медицине получили широкое распространение методы, связанные с использованием энергии ультразвуковых (УЗ) колебаний, позволяющие значительно (примерно в 10 раз) [3, 4, 9] повысить производительность и качество резания при обработке пластмасс и биологических тканей.

Цель статьи — разработка и исследование технологического процесса ультразвуковой резки с одновременной сваркой (УЗРиС) изделий из пластмасс.

На кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан новый технологический процесс — УЗРиС разных полимерных материалов и синтетических тканей. Установлено, что ультразвуковая резка (УЗР) имеет преимущества перед другими известными методами резки. Использование УЗРиС позволит выполнять вырезку деталей различной конфигурации и разделку кромок под сварку, а также совмещать операции резки со сваркой различных полимеров [3, 6, 9].

Метод УЗР пластмасс, схема которой приведена на рис. 1, заключается в следующем. Электрические колебания с УЗ-частотой (18...24 кГц), вырабатываемые ультразвуковым генератором (УЗГ) 2, преобразуются в механические УЗ-колебания той же частоты магнитострикционным преобразователем 1 и вводятся в разрезаемый полимерный материал 5 с помощью продольно колеблющегося волновода-инструмента (далее волновод) 4.

Здесь часть энергии механических колебаний УЗ-частоты переходит в тепловую, что приводит к локальному нагреву разрезаемой детали до температуры вязкотекучего состояния. Необходимые для ввода механических колебаний условия обеспечиваются статическим сварочным давлением (далее статическое давление) $p_{ст}$ рабочего торца волновода. Это дав-

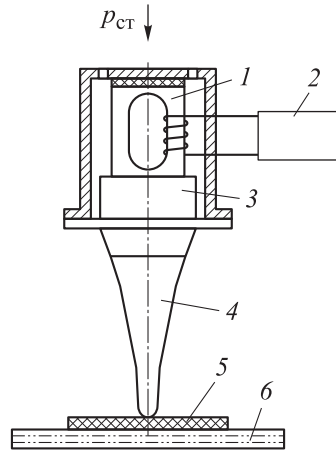


Рис. 1. Схема УЗР пластмассы:
1 — магнитострикционный преобразователь;
2 — УЗГ; 3 — трансформатор упругих колебаний;
4 — волновод; 5 — изделие; 6 — опора

ление также способствует концентрации энергии в зоне реза, внедрению волновода в изделие и разделению изделий [7, 8, 10].

Упругие механические колебания УЗ-частоты позволяют значительно снизить усилие резания и улучшить качество разрезаемой поверхности. Это свидетельствует об уменьшении деформаций, которые испытывают пластмассы в процессе резания в контакте с режущим инструментом, а также о полном отсутствии деформации полимеров [1, 4, 11].

Используемые волноводы представляют собой экспоненциальные стержни с режущей частью в виде ножа со специальной заточкой (рис. 2).

В качестве материалов для изготовления волновода выступают титановые сплавы, а также стали 45 и 30ХГСА, имеющие по сравне-

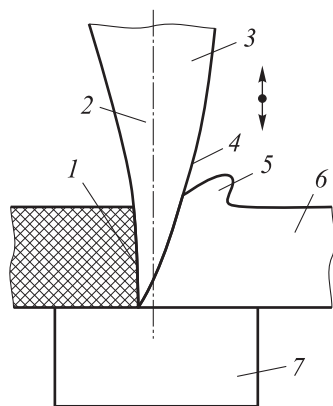


Рис. 2. Схема УЗР пластмасс стержнем с режущей частью в виде ножа со специальной заточкой:
1 и 4 — выравнивающая и режущая грани; 2 — ось волновода; 3 — волновод; 5 — срезаемый материал;
6 — разрезаемая деталь; 7 — опора

нию с аналогами малый коэффициент потерь (отношение мощности потерь к колебательной мощности) и хорошие прочностные характеристики [3, 7].

В процессе УЗР пластмасс волновод выполняет функцию ножа, колеблющегося с частотой 18...24 кГц [3, 4, 6]. При резке пластмасс можно перемещать либо волновод, либо деталь (см. рис. 2). Микроперемещения режущей кромки способствуют внедрению режущего клина в обрабатываемую деталь.

Волновод в процессе перерезания отодвигает срезаемый материал 5 кверху с помощью продольного скоса — режущей грани 4, а другой гранью 1 выравнивает поверхность детали. В этом случае нет отходов в виде стружки и опилок, качество реза — хорошее.

Если необходимо совместить УЗР со сваркой изделий, наполненных различными продуктами из полимерных материалов, то в зависимости от требуемых геометрических параметров изделия режущую часть волновода можно выполнить круглой, квадратной, прямоугольной, пластинчатой, дисковой и др.

Применяя волноводы со специальной заточкой, из листового материала можно получать круглые, квадратные, прямоугольные и треугольные детали из полиэтилена, полипропилена, полистирола, капрона, лавсана и других полимерных и пленочных материалов [10, 12].

Волноводы-ножи и плоские скальпели со специальной заточкой позволяют разрезать синтетические ткани и пленки из нескольких слоев, одновременно прорезать и сваривать петли на одежде. В этом случае рабочий торец волновода должен обеспечивать резку и сварку контура петли, внешний вид которой отвечает эстетическим и декоративным требованиям [9, 10, 13].

При УЗР режущая кромка торца волновода не только режет, но и оплавляет место разреза ткани, тем самым предупреждая ее осыпание. Кромки разрезанных тканей имеют хороший внешний вид [4, 13, 14].

На кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и изготовлена экспериментальная установка для УЗРиС полимерных материалов и синтетических тканей, на которой проводили исследования по резке и сварке фильтровальных элементов.

Экспериментальная установка состоит из станины, где закреплен магнитострикционный

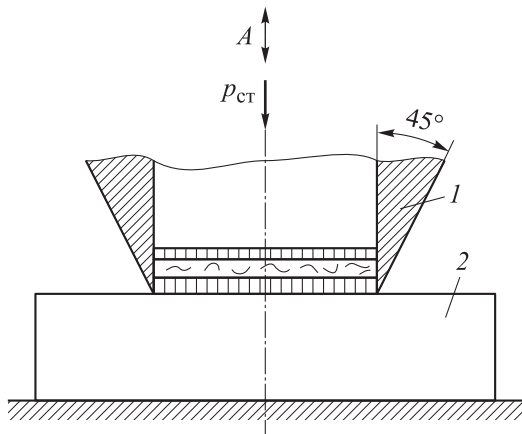


Рис. 3. Схема регулирующего устройства для УЗРиС фильтр-комплектов

преобразователь с контурным волноводом 1 из титанового сплава ВТ-5 (рис. 3). Разрезаемый и свариваемый материал помещают на опору 2, расположенную на столе установки, и прижимают сверху контурным волноводом. Для достижения строгой параллельности взаимодействующих плоскостей волновода и опоры установка снабжена регулирующим устройством, позволяющим одновременно резать и сваривать изделия с хорошим внешним видом и достаточной прочностью.

В качестве источника питания магнетострикционного преобразователя использовали модернизированный серийно выпускаемый фирмой «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» УЗГ типа ИЛ10-1,5 с диапазоном частот 20...70 кГц, массой 12 кг и габаритными размерами 310×310×160 мм. Генератор с плавным регулированием мощности до 1,5 кВт и автоподстройкой частоты оснащен источником поляризации с выходным током до 30 А. Охлаждение УЗГ — воздушное, принудительное. Выходная частота может меняться в любую сторону [3, 15].

Для контроля частоты УЗ-колебаний использовали цифровой частотомер, вмонтированный в УЗГ, для измерения амплитуды колебаний волновода — специально разработанные датчики.

По принципу дозирования УЗ-энергии, а также с целью уменьшения износа режущей кромки волновода предложены два варианта прессовой УЗРиС полимерных материалов [10, 11].

В первом варианте время воздействия УЗ-колебаний на полимерный материал задает реле времени. По истечении заданного времени УЗ-импульса происходит отключение УЗГ, и цикл

резки завершается. При использовании этой схемы необходимо иметь данные о среднем статическом времени УЗР полимерного материала.

Во втором варианте отключение УЗГ происходит в момент касания волноводом опоры. В этом случае волновод и опора представляют собой два контактных устройства. После перерезания материала режущая кромка волновода касается опоры, замыкается контакт и срабатывает электронное устройство отключения УЗГ. Время его срабатывания составляет 100...150 мс.

Электронное устройство позволяет исключить фактор отсутствия полного перерезания полимерного материала в силу разницы толщины материалов, иногда имеющих место при использовании варианта отключения УЗГ по реле времени. Использование второго варианта позволяет минимизировать время контакта режущей кромки с опорой, что снижает износ волновода.

При включении УЗГ начинается работа системы давления, что побуждает волновод контактировать с полимерным материалом. Достаточно острая форма заточки волновода и интенсификация УЗ-колебаниями приводят к резанию материала.

К достоинствам второго варианта относятся качественный и ровный рез, высокая производительность, хорошее качество резания и отсутствие необходимости частой перезаточки режущей части волновода.

Недостатками второго варианта являются повышенные требования к точности изготовления всех узлов акустической системы и взаимодействующей с ней опоры, строгая параллельность и отсутствие смещений между волноводом и опорой, что трудно контролировать при УЗРиС в заводских условиях.

Изготавливая рабочие торцы волноводов соответствующих геометрических форм, можно эффективно проводить подготовку кромок методом резки пластмасс [9, 12].

Методы сварки и резки можно применять комбинированно. Это повышает эффективность процесса, например, если необходимо сварить по концам две детали и одновременно разделить их вдоль сварочного шва. Такой метод позволяет укупоривать различные продукты (например, клей) в полиэтиленовые тубы (рис. 4).

При производстве ацетатной ленты для фильтров системы окончательной очистки прядильного раствора применяют фильерный

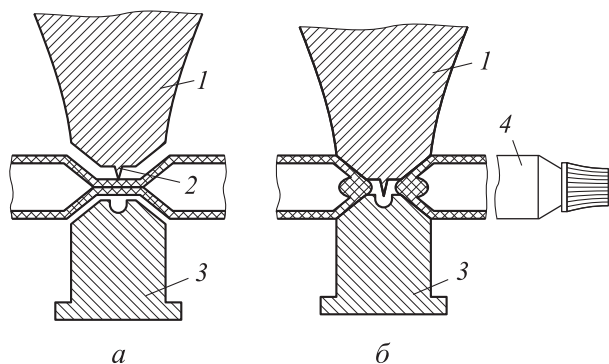


Рис. 4. Схемы подготовки (а) и процесса (б) УЗРиС изделий из пластмасс:
 1 — волновод; 2 — заточенный рабочий торец волновода;
 3 — опора с пазом; 4 — разрезаемое и свариваемое изделие

комплект, состоящий из металлических префилтеры и филтеры, между которыми расположено уплотнительное кольцо. В префилтере и филтеру помещены тампоны из двух слоев капроновой ткани. Между ними находится слой капронового штапеля. Также в филтеру помещены трех- и однослойная капроновые прокладки [1, 12, 14].

Согласно техническим требованиям, технологический процесс изготовления указанных фильтровальных элементов должен обеспечивать им правильную круглую форму при вырезании из полотна, соединение тампона и трехслойной ткани по контуру швом шириной не более 0,5 мм и резание однослойной ткани по контуру с оплавлением и сваркой. Время изготовления одного элемента комплекта составляет не более 2 с.

Очевидно, что оптимальным вариантом будет совмещение указанных процессов сварки и резки за один цикл. Анализ методов резки полимерных материалов позволил определить основные из них: механический, нагретым инструментом, газовой струей, током высокой частоты и ультразвуком [4, 5, 7].

Очевидно, что механическую резку нельзя применять при изготовлении фильтр-комплектов вследствие невозможности совмещения процессов сварки и резки.

При резании нагретым инструментом его непосредственный контакт с разрезаемым полотном приводит к перегреву материала в местах реза, его деструкции и, как следствие, к потере товарного вида и ухудшению фильтрационных характеристик.

Малая производительность метода резки газовой струей и сложность оборудования огра-

ничивают его применение в производственных условиях [3, 13].

Сложность оборудования и возможность обработки токами высокой частоты материалов только с высоким фактором диэлектрических потерь исключают использование этого метода при изготовлении фильтр-комплектов.

Уже первые эксперименты по УЗР показали, что этот метод можно применять при изготовлении фильтр-комплектов. Результаты исследования нескольких схем процесса позволили выявить оптимальную (см. рис. 3), включающую в себя волновод и опору, снабженную регулировочным устройством для достижения строгой параллельности взаимодействующих плоскостей волновода и опоры.

Для определения основных параметров разделительной резки, ответственных за получение изделий с заданными техническими характеристиками, исследовали кинетику процесса. Согласно предполагаемой модели, после воздействия статического давления и включения УЗ-колебаний начинается разогрев фильтровального полотна. При достижении температуры, соответствующей вязкотекучему состоянию, происходит осаивание волновода, утонение и сближение слоев материала. В результате становится возможным их соединение между собой по контуру.

Дальнейшее действие УЗ-колебаний приводит к разрезанию материала. Таким образом, при изготовлении фильтр-комплектов происходит комплексное воздействие на материал теплоты, возникающей при пропускании УЗ-колебаний, и интенсифицируемого ими статического давления волновода [5, 8].

Очевидно, что основными параметрами УЗРиС являются амплитуда УЗ-колебаний A , статическое давление $p_{ст}$ и деформация (осадка) Δ . Достижение максимального стабилизированного значения последней, свидетельствующего о наличии контакта волновода с опорой, по-видимому, и есть наиболее достоверная характеристика завершенности процесса, регламентирующая время его протекания и, следовательно, производительность.

Поэтому для удобства измерения деформации и продолжительности процесса, а также из-за необходимости совмещения деформационного цикла с термическим при выборе оптимального режима резания и сварки использовали метод анализа термодеформационных кривых [8, 13].

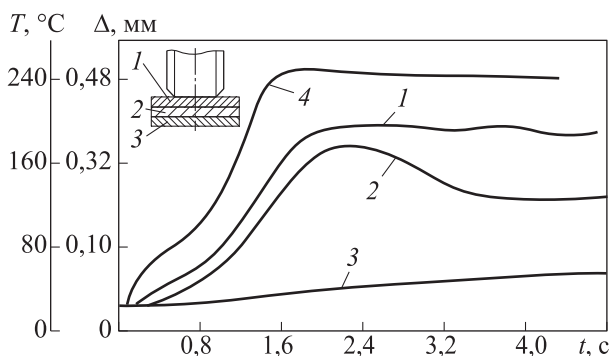


Рис. 5. Термодформационный цикл УЗРиС фильтр-комплектов

Исследования проводили на ультразвуковой сварочной установке, снабженной магнито-стрикционным преобразователем ПМС1-1 с резонансной частотой 22 кГц, питаемым УЗГ типа ИЛ10-1,5. Для измерения температуры использовали хромель-копелевые термодпары, для отображения кривых термического цикла — светолучевой осциллограф, для получения кривых ползучести — индукционный датчик [8, 15].

В результате проведенных экспериментов по УЗРиС фильтр-комплектов выбраны три режима: мягкий ($A = 25$ мкм, $p_{ст} = 5$ МПа), средний ($A = 30$ мкм, $p_{ст} = 10$ МПа) и жесткий ($A = 35$ мкм, $p_{ст} = 16$ МПа). Для оценки возникающих структурных изменений использован термодформационный цикл.

Исследование термодформационных циклов УЗРиС фильтр-комплектов в широком диапазоне режимов показало, что сварочные швы разогреваются до температуры вязкотекучего состояния.

Термодформационный цикл УЗРиС фильтр-комплектов на среднем режиме приведен на рис. 5. Номера кривых 1–3 соответствуют номерам термодпар 1–3, расположение которых также показано на рис. 5. Кривая 4 отражает зависимость осадки от времени сварки t . Видно, что процесс резания заканчивается через 1,6 с ($\Delta = \max = \text{const}$).

Максимальная температура T наблюдается в зоне, прилегающей к волноводу, и составляет 200 °С.

Установлено, что наиболее оптимальным (с точки зрения производительности и качества процесса УЗРиС) является средний режим сварки.

Аналогичные результаты получены для образцов из трех- и однослойной капроновых тканей. В последнем случае производительность процесса повысилась вследствие меньшей толщины изделий.

Таким образом, при изготовлении фильтр-комплектов происходит комплексное воздействие на материал теплоты, возникающей при пропускании УЗ-колебаний, и интенсифицируемого ими статического давления волновода.

Выводы

1. Рассмотрены основные методы резки полимерных материалов, в том числе с помощью УЗ-колебаний.
2. Показано влияние основных параметров режима УЗР на производительность процесса и качество разрезаемых пластмасс.
3. Рассмотрен метод УЗРиС.
4. Проведены экспериментальные исследования УЗРиС фильтр-комплектов. Выявлено, что производительность процесса возрастает до 10 раз по сравнению с таковой при механических методах резания.
5. Основными параметрами УЗРиС являются: амплитуда УЗ-колебаний волновода $A = 30$ мкм; статическое давление $p_{ст} = 10$ МПа; осадка $\Delta = 0,5$ мм; время сварки $t = 1,6$ с.
6. Для удобства измерения осадки и продолжительности процесса при выборе оптимального режима резания с одновременной сваркой использован метод анализа термодформационных кривых.
7. Установлено, что увеличение амплитуды колебаний рабочего торца волновода и статического давления, прикладываемого к нему, приводят к существенному сокращению времени резания и повышению производительности УЗР. Влияние этих параметров нельзя разделять, так как только при их совместном действии возможно эффективное протекание процесса.

Литература

- [1] Тагер А.А. *Физико-химия полимеров*. Москва, Научный мир, 2007. 576 с.
- [2] Алешин Н.П., Чернышов Г.Г. *Сварка. Резка. Контроль*. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2004. 624 с.

- [3] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [4] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Weld. Int.*, 2001, vol. 15, no. 7, pp. 583–584, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110109549409>
- [5] 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.
- [6] 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>
- [7] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. *Weld. Int.*, 2003, vol. 17, no. 6, pp. 482–486, doi: <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3154>
- [8] Кархин В.А. *Тепловые процессы при сварке*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2013. 646 с.
- [9] Волков С.С. Влияние разделки кромок на свариваемость пластмасс при ультразвуковой сварке. *Сварочное производство*, 2013, № 4, с. 24–27.
- [10] Волков С.С. Ультразвуковая сварка изделий круглой формы из полиамида 610. *Сварочное производство*, 2010, № 8, с. 42–46.
- [11] Волков С.С., Бигус Г.А. Технология и оборудование для ультразвуковой контурной сварки изделий из АБС-пластика. *Сварочное производство*, 2016, № 9, с. 51–57.
- [12] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 3, pp. 163–166, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.695551>
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Weld. Int.*, 2012, vol. 26, no. 4, pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [14] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Ultrasonic welding of polyamide sealing gaskets using infrared radiation. *Weld. Int.*, 2016, vol. 30, no. 2, pp. 150–154, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1036535>
- [15] 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>

References

- [1] Tager A.A. *Fiziko-khimiya polimerov* [Polymer physics and chemistry]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2007. 576 p. (In Russ.).
- [2] Aleshin N.P., Chernyshov G.G. *Svarka. Rezka. Kontrol*. T. 1 [Welding. Cutting. Control. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 624 p. (In Russ.).
- [3] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and bonding polymeric materials]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 376 p. (In Russ.).
- [4] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Weld. Int.*, 2001, vol. 15, no. 7, pp. 583–584, doi: <https://doi.org/10.1080/09507110109549409>
- [5] Volkov S.S., Konovalov A.V., Vybornov A.P. Calculation method for ultrasonic welding of polymer products. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2016, no. 2, pp. 35–39. (In Russ.).
- [6] 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>
- [7] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. *Weld. Int.*, 2003, vol. 17, no. 6, pp. 482–486, doi: <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3154>
- [8] Karkhin V.A. *Teplovye protsessy pri svarke* [Thermal processes in welding]. Sankt-Petersburg, Izd-vo Politekhnikheskogo universiteta Publ., 2013. 646 p. (In Russ.).
- [9] Volkov S.S. Influence of edge preparation on weldability of plastics during ultrasonic welding. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 4, pp. 24–27. (In Russ.).

- [10] Volkov S.S. Ultrasonic welding of round shaped products from 610 polyamide. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2010, no. 8, pp. 42–46. (In Russ.).
- [11] Volkov S.S., Bigus G.A. Technology and equipment for ultrasonic contour welding of ABS plastic products. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2016, no. 9, pp. 51–57. (In Russ.).
- [12] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 3, pp. 163–166, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.695551>
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Weld. Int.*, 2012, vol. 26, no. 4, pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [14] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Ultrasonic welding of polyamide sealing gaskets using infrared radiation. *Weld. Int.*, 2016, vol. 30, no. 2, pp. 150–154, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1036535>
- [15] 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>

Статья поступила в редакцию 24.04.2023

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: ssv@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).

ПАНКРАТОВ Александр Сергеевич — кандидат технических наук, доцент 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: aspankratov@bmstu.ru).

МИКАЙИЛОВА Юлия Александровна — ассистент 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: mikailova@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: ssv@bmstu.ru).

KONOVALOV Aleksey Viktorovich — Doctor 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: avk@bmstu.ru).

PANKRATOV Alexander Sergeevich — Candidate of Science (Eng.), Assistant 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: aspankratov@bmstu.ru).

MIKAYILOVA Julyia Alexandrovna — Assistant, 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: mikailova@bmstu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Коновалов А.В., Панкратов А.С., Михайлова Ю.А. Технологические особенности ультразвуковой резки с одновременной сваркой изделий из пластмасс. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 11, с. 53–60, doi: [10.18698/0536-1044-2023-11-53-60](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-11-53-60)

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Konovalov A.V., Pankratov A.S., Mikayilova J.A. Technological features of ultrasonic cutting with simultaneous welding of the plastic products. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 11, pp. 53–60, doi: [10.18698/0536-1044-2023-11-53-60](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-11-53-60)