

УДК 621.791.16

doi: 10.18698/0536-1044-2020-1-13-20

Влияние наполнителей и красителей на качество сварных соединений при ультразвуковой сварке пластмасс

С.С. Волков, А.В. Коновалов, А.Л. Ремизов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

The Influence of Fillers and Dyes on the Quality of Weld Joints at Ultrasonic Welding of Plastics

S.S. Volkov, A.V. Konovalov, A.L. Remizov

Bauman Moscow State Technical University

Обоснован механизм влияния красителей и наполнителей на процесс теплообразования при ультразвуковой сварке пластмасс, изучение которого позволило направлено влиять на свариваемость и качество изделий. Проведены эксперименты сварки образцов пластмасс с различной концентрацией красителей и наполнителей. На основании экспериментальных данных установлено, что на свариваемость и эксплуатационные показатели сварного соединения влияют основные параметры процесса и свойства полимера, а также природа и концентрация красителей и наполнителей, введенных в полимер для получения определенных технологических свойств и цвета. Найдены оптимальные концентрации для жирорастворимых красителей и органических пигментов (0,1...1,5 г/кг), а также для дисперсных наполнителей и неорганических пигментов (5...12 г/кг), при которых достигаются наилучшие свариваемость, прочность и качество изделий. Определены виды красителей и наполнителей и их оптимальные концентрации для жирорастворимых красителей, органических пигментов и дисперсных наполнителей. Установлены параметры процесса ультразвуковой сварки окрашенных и наполненных пластмасс. Показано, что сварные изделия с рекомендуемой оптимальной концентрацией и видами красителей и наполнителей обладают наилучшей свариваемостью, повышенной прочностью и работоспособностью и могут эксплуатироваться более продолжительное время в различных климатических условиях.

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, модуль упругости, амплитуда колебаний волновода, сварочное давление, вязкотекучее состояние, коэффициент удельной мощности

In this work, the impact of dyes and fillers on the process of heat generation during ultrasonic welding of plastics was studied, which made it possible to influence the weldability and quality of products. Experiments to weld samples of plastics with various concentrations of dyes and fillers were carried out. Based on the experimental data, it was established that the main parameters of the welding process and the properties of the polymer influenced weldability and performance indicators of the weld joint. The nature and the concentration of the dyes and fillers injected into the polymer to obtain certain characteristics and colors had an impact as well. Optimal concentrations that provided the best weldability, strength and quality of the weld products were obtained for fat-soluble dyes and organic pigments (0.1–1.5 g/kg) as well as disperse fillers and inorganic pigments (5–12 g/kg). Types of dyes and fillers and their optimal concentrations for fat-soluble dyes,

organic pigments and disperse fillers were determined. Parameters of the process of ultrasonic welding of dyed and filled plastics were defined. It was established that welded products with the recommended optimal concentration and types of dyes and fillers showed the best weldability, increased strength and performance, and could be used longer under various climatic conditions.

Keywords: ultrasonic welding, elasticity module, amplitude of fluctuations of the waveguide, welding pressure, plastic state, coefficient of specific power

Применение пластмасс во многих отраслях современной промышленности обусловлено комплексом технико-экономических показателей. Прежде всего, это значительная коррозионная стойкость, высокие механические свойства при относительно малой плотности и более низкая, чем у металлов и сплавов, стоимость. Массовое использование новых материалов предполагает совершенствование технологических процессов их соединения.

Одним из хорошо зарекомендовавших себя методов соединения пластмасс является ультразвуковая сварка (УЗС). Специфические особенности УЗС пластмасс позволили ей занять место в ряду перспективных технологических процессов [1–3].

Вместе с ростом применения пластмасс в производстве, быту и строительстве повышаются требования к качеству сварных соединений (СС) из пластмасс. Известно, что качество СС различных материалов определяется не только правильно выбранной технологией и сварочным оборудованием, но и введением в полимер добавок для получения пластмасс с высокими физико-химическими характеристиками. Добавки, вводимые в смеси при изготовлении пластмасс, служат для придания им прочностных и красящих характеристик. К таким добавкам в первую очередь относятся красители и наполнители [3–5].

Анализ причин низкого качества сварных изделий из чистых пластмасс показал, что более 30 % брака обусловлено отсутствием контроля за количественным составом необходимых добавок (красителей, наполнителей), вводимых в полимер для получения пластмасс с заданными свойствами.

Цель работы — обоснование оптимальных концентраций красителей и наполнителей пластмасс с точки зрения их свариваемости ультразвуком и обеспечения заданного качества изделий.

Для получения пластмасс с заданными свойствами и цветом, а также снижения стоимости и улучшения технологических свойств в поли-

меры добавляют различные наполнители и красители. При этом повышаются температурные переходы и прочностные характеристики и снижаются внутренние потери, ударная вязкость, теплоемкость и др., что влияет на процесс УЗС пластмасс [4–6].

Применяемые красители подразделяют на две основные группы: органические (жирорастворимые красители и органические пигменты) и неорганические. Высокая красящая способность органических красителей позволяет вводить их в полимерные материалы для достижения необходимого цветового эффекта в небольшом количестве: до концентрации 0,1...1,5 г/кг они не изменяют физико-механических свойств основного материала.

Введение неорганических пигментов в полимер оказывает на него стабилизирующее действие, повышает его термо- и влагостойкость. Однако по красящей способности неорганические красители уступают органическим, поэтому их вводят в полимерные материалы в дозах 10...25 г/кг. Исследования показали, что с увеличением концентрации неорганических пигментов полимеры становятся рыхлыми, повышается текучесть расплава, снижаются ударная вязкость и относительное удлинение [7, 8].

В большинстве случаев для получения наполненных полимеров применяют твердые наполнители: сажу, липотон, диоксид титана, мел, тальк, графит, разнообразные волокнистые материалы и др. [1, 4, 7, 9].

Прогнозировать свойства наполненной композиции и выбирать исходные компоненты позволяет модель наполненной системы, в общем случае состоящая из трех элементов: наполнителя, связующего и продукта их взаимодействия — межфазного слоя [5, 6, 10].

Для проведения экспериментов на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и изготовлена экспериментальная ультразвуковая сварочная установка, позволяющая выполнять сварку с разными схемами управления процессом и регулировать параметры режимов сварки.

В качестве источника питания сварочного узла использовали модернизированный серийно выпускаемый фирмой «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» (Санкт-Петербург) ультразвуковой генератор ИЛ-1,5 с расширенным диапазоном частот 20...70 кГц, массой 12 кг и габаритными размерами 310×310×160 мм. Генератор оснащен плавной регулировкой мощности до 1,5 кВт, цифровым частотомером и аналоговым индикатором резонанса акустической системы. Он также имеет фазовую автоподстройку частоты и источник поляризации с выходным током до 30 А. Охлаждение генератора — воздушное, принудительное. Выходная частота может меняться в любую сторону [1].

Зависимость прочности СС от концентрации красителей и наполнителей исследовали на сварных образцах из полистирола общего назначения (блочного), обладающего оптимальной свариваемостью при УЗС и широко применяемого в промышленности при серийном изготовлении изделий и конструкций.

Стандартные образцы сваривали встык способом передаточной УЗС, который получил наибольшее распространение при сварке жестких пластмасс. Исследовали основные типы жирорастворимых красителей, пигментов и дисперсных наполнителей при их различной концентрации (около 170 рецептов).

В результате предварительных экспериментов выявили изменение прочности СС при варьировании концентрации красителей и дисперсных наполнителей. Концентрация жирорастворимых красителей и органических пигментов от 0,1 до 1,5 г/кг практически не влияет на прочность СС. При дальнейшем увеличении концентрации прочность СС снижается. При малой концентрации (1...4 г/кг) неорганических пигментов и дисперсных наполнителей прочность СС падает, а при концентрации от 5 до 10...12 г/кг — возрастает или остается неизменной. Дальнейшее повышение концентрации (более 12 г/кг) приводит к снижению прочности СС.

По характеру влияния на прочность СС при УЗС пластмасс на основе стирола красители и наполнители подразделяют на две группы: не оказывающие существенного влияния до определенной концентрации (1,5...2,0 г/кг) и влияющие при любой концентрации. Для получения качественного СС потребовалось увеличить время сварки и статическое сварочное давление.

При концентрации до 25...35 г/кг затруднялось литье отдельных деталей, так как повысилась прочность сцепления частиц неорганических пигментов и дисперсных наполнителей с металлом пресс-формы. Для устранения этого нежелательного явления в формирующую поверхность пресс-формы добавляли масло, которое вследствие диффузии проникало в поверхностный слой деталей. Это также препятствовало образованию прочного СС при сварке. При таких условиях прочность и качество полученных изделий были низкими, брак составил 25...35 %.

Для оценки свариваемости пластмасс при УЗС определяли скорости разогрева и течения расплава, а также изменение температурного интервала вязкотекучего состояния. Чем меньше время для разогрева материала, больше скорость течения расплава и шире температурный интервал вязкотекучего состояния, тем лучше свариваемость материала [8, 9, 11].

Основными параметрами режима УЗС являются амплитуда колебаний рабочего торца волновода A , частота колебаний f , продолжительность ультразвукового импульса (время сварки $t_{св}$) и статическое сварочное давление $p_{ст}$.

Свариваемость пластмасс при УЗС определяется также их теплофизическими свойствами. Интервал между температурами деструкции T_d и текучести T_t (температурный интервал вязкотекучего состояния) полимера должен быть достаточно большим. В противном случае незначительные отклонения от оптимального режима сварки, неизбежные в реальных условиях производства, могут привести к дефектам сварки из-за непроваров или термодеструкции [3, 6].

Применяя теорию наполнения полимеров и тепловыделения в чистом (ненаполненном) полимере при УЗС [10–12], с помощью модели наполненной системы можно решить задачу разогрева наполненного полимера.

При оценке свойств наполненных систем последние рассматривают как трехэлементные, состоящие из наполнителя, межфазного слоя с измененными свойствами и неизменного связующего (основного материала). Модуль упругости композиции определяется выражением

$$E_k = \frac{E_{нап} E_{св} E_{м.с}}{E_{нап} E_{м.с} \Phi_{нап}} + E_{св} E_{нап} \Phi_{м.с} + E_n E_{с.в} \Phi_{нап},$$

где E_k , $E_{нап}$, $E_{св}$ и $E_{м.с}$ — модуль упругости соответственно композиции, наполнителя, свя-

зующего и межфазного слоя; $\Phi_{\text{нап}}$ и $\Phi_{\text{м.с}}$ — объемная доля наполнителя и межфазного слоя.

Тангенс угла механических потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\operatorname{tg} \delta_{\text{ч.п}}}{1 + 1,5\Phi_{\text{нап}}B},$$

где $\operatorname{tg} \delta_{\text{ч.п}}$ — механические потери чистого (ненаполненного) полимера; B — параметр, характеризующий взаимодействие частиц наполнителя и полимера.

Особенность зависимости модуля упругости от температуры для наполненных полимеров заключается в том, что его резкое снижение начинается при более высокой температуре, чем у чистого полимера, а скачкообразное повышение — при температуре, превышающей температуру стеклования T_c на 10...15 °С.

При введении наполнителя возрастают температуры стеклования T_c , текучести T_T и деструкции T_d . Увеличение температурных переходов обусловлено заметным ограничением молекулярной подвижности и затруднением протекания свободнорадикальных деструктивных процессов в результате взаимодействия молекул с наполнителем [9–11].

Введение в полимерную фазу дисперсных наполнителей повышает прочностные характеристики полимера, что связано с работой его разрушения

$$A_p = \int_{L_0}^{L_B} \sigma dL,$$

где L_0 — начальная длина образца; L_B — длина образца при разрыве; σ — напряжение.

Для перевода полимера в состояние поверхностного слоя необходимо выполнить работу по преодолению сил поверхностного натяжения на частицах наполнителя, которая затрачивается на увеличение поверхности полимера и является мерой дополнительной работы, необходимой для разрушения [5, 7, 13].

Скорость звука, коэффициент затухания, модуль упругости и температурные переходы для окрашенных и наполненных пластмасс в экспериментах определяли по методикам, изложенным в работах [6, 8, 12]. Сопоставление приведенных в них данных и полученных значений показало хорошую сходимость.

Анализ результатов исследований позволяет предположить, что повышение модуля упруго-

сти полимера, наполненного дисперсными наполнителями и окрашенного неорганическими пигментами, уменьшение внутренних потерь, увеличение скорости звука и статического сварочного давления на полимер расширяют технологические возможности передаточной УЗС, обеспечивая улучшение прочностных характеристик СС. При этом температурный интервал вязкотекучего состояния $T_d - T_T$ остается неизменным.

Сварка полимерных материалов может протекать только при условии их перехода в вязкотекучее состояние, поэтому исследование тепловых процессов при УЗС позволяет разработать методы практического расчета параметров режима сварки. Основным источником теплоты при УЗС пластмасс являются гистерезисные потери, обусловленные циклическим деформированием свариваемого материала, а также внешнее и внутреннее трение [10, 11].

В работах [9, 10, 13] рассмотрена связь между распределением напряжений в полимере, изменяющихся по синусоидальному закону, и теплообразованием при УЗС термопластов, учтена взаимосвязь тепловых процессов как с параметрами режима сварки, так и с физико-механическими и акустическими характеристиками связываемых материалов. Результаты теоретических расчетов подтверждены обширными экспериментальными материалами.

Следует отметить, что все изложенное касается чистых (неокрашенных, ненаполненных) полимеров, в то время как решения тепловых задач для окрашенных и наполненных полимеров при УЗС отсутствуют [10, 11].

Для решения задачи теплообразования в полимере с дисперсными наполнителями при УЗС используют уравнение удельной мощности теплообразования чистого полимера

$$P_{\text{ч.п}} = \frac{A^2 E_{\text{ч.п}} \operatorname{tg} \delta_{\text{ч.п}} \omega}{4l^2}, \quad (1)$$

где A — амплитуда колебаний рабочего торца волновода; ω — круговая частота; l — длина стержня, по которому проходят ультразвуковые колебания.

Если учесть, что при введении наполнителя в полимер параметры, входящие в формулу (1), изменяются, то уравнение удельной мощности теплообразования для полимера, наполненного дисперсными наполнителями, примет вид

$$P_{н.п} = \frac{A^2 E_{св} E_{нап} E_{м.с} \operatorname{tg} \delta_{ч.п}}{4l^2 \Sigma_1 (1 + 1,5\Phi_{нап} B)},$$

$$\Sigma_1 = E_{нап} E_{м.с} \Phi_{св} + E_{св} E_{м.с} \Phi_{нап} + E_{св} E_{нап} \Phi_{м.с},$$

где $\Phi_{св}$ — объемная доля связующего.

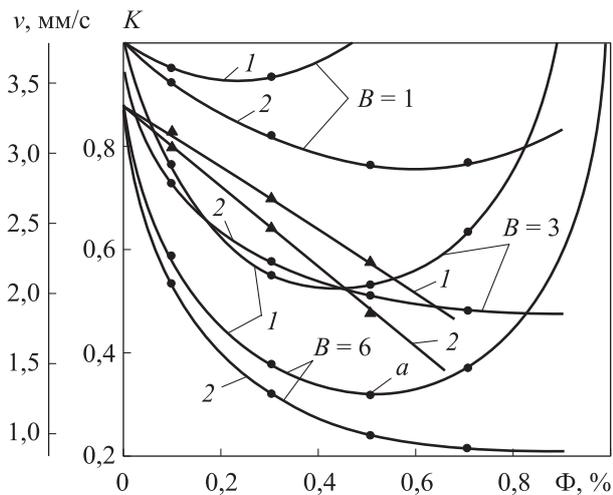
Представляет интерес рассмотреть следующее отношение:

$$K = \frac{P_{н.п}}{P_{ч.п}} = \frac{1}{\left(\Phi_{св} + \Phi_{нап} \frac{E_{св}}{E_{нап}} + \Phi_{м.с} \frac{E_{св}}{E_{м.с}} \right) (1 + 1,5\Phi_{нап} B)}, \quad (2)$$

где K — коэффициент удельной мощности теплообразования наполненного полимера.

Таким образом, коэффициент K позволяет определить характер изменения процесса теплообразования при введении дисперсных наполнителей во время УЗС (см. рисунок). С увеличением или с уменьшением коэффициента K пропорционально растет или падает удельная мощность теплообразования наполненного полимера и, соответственно, время сварки.

Характер изменения коэффициента K зависит от концентрации наполнителя. Как видно из рисунка, при любых значениях параметров, входящих в состав формулы (2), выявлена тенденция уменьшения удельной мощности теплообразования с увеличением объемной доли наполнителя до $\Phi_{нап} = 0,4 \dots 0,6$ %. При даль-



Зависимость исследуемых параметров от объемной доли наполнителя Φ , выполненного из диоксида титана (1) и алюминиевой пудры (2): \blacktriangle — скорости течения расплава v ; \bullet — коэффициента удельной мощности теплообразования K при $B = 1, 3, 6$

нейшем повышении $\Phi_{нап}$ энергия, требуемая для разогрева полимера, возрастает.

Объяснить это явление можно следующим образом. Например, при параметре $B = 6$ минимальному значению энергии (см. рисунок, точка a) соответствует физическое состояние наполненной системы, при котором степень наполнения настолько мала, что частицы наполнителя с окружающим их межфазным слоем локализованы и изолированы друг от друга непрерывной фазой связующего.

Увеличение концентрации наполнителя, приводящее к контактированию его отдельных частиц и межфазных слоев, повышает энергию, требуемую для разогрева свариваемых пластмасс. Поэтому концентрирование энергии ультразвуковых колебаний в полимере уменьшается, и для разогрева такой системы общее количество энергии должно возрасти [1, 6, 11].

Снижение концентрации наполнителя приводит к росту теплоемкости наполненной системы, что также требует большого энергетического вклада для ее разогрева [3, 9].

Такое теоретическое решение хорошо подтверждается экспериментальным термографированием при УЗС полимеров с дисперсными наполнителями. В таблице приведены полученные при термографировании значения температуры в зоне сварки полимеров, наполненных алюминиевой пудрой и диоксидом титана. Как следует из таблицы, с увеличением объемной доли наполнителя до $\Phi_{нап} = 0,4 \dots 0,6$ % температура в зоне сварки растет, а при $\Phi_{нап} > 0,6$ — падает.

Уменьшение энергии для разогрева сокращает время УЗС, а задержка перемещения расплавленного полимера затрудняет образование СС и повышает время сварки.

Значения температуры в зоне сварки полимеров с разными наполнителями

Объемная доля наполнителя, %	Температура в зоне сварки, °С, полимера	
	с алюминиевой пудрой	с диоксидом титана
0,1	290	280
0,3	325	310
0,5	310	295
0,7	250	235
0,9	185	170

Практический интерес при УЗС изделий представляет область, где объемная доля наполнителя не превышает 0,1 % (до 100 г/кг). В этой области на рисунке наблюдается снижение энергии для разогрева с одновременным падением скорости течения расплава v . При этом температурный интервал вязкотекучего состояния остается неизменным.

Уменьшение энергии для разогрева сокращает время УЗС, а задержка перемещения расплавленного полимера затрудняет образование СС и увеличивает время сварки. Наличие двух параметров v и K , по-разному влияющих на процесс УЗС, позволяет выделить зону оптимальной концентрации наполнителя.

В экспериментах исследовали влияние концентрации дисперсных наполнителей и неорганических пигментов (литопона, диоксида титана, алюминиевой и бронзовой пудры, сажи, кадмия лимонного желтого, минерального пигмента 609, изумрудной зелени и др. при их концентрации 1...50 г/кг) на свариваемость образцов из блочного полистирола размером 40×10×3 мм.

Максимальная прочность СС и наилучший товарный вид изделия достигнуты при концентрации наполнителя от 6 до 10...12 г/кг. Анализ микроструктуры показал, что при такой концентрации пигментов и наполнителей в сварном шве содержится наибольшее количество равномерно распределенных частиц, что обеспечивает повышение прочности СС и уменьшение времени сварки.

Следует отметить, что оптимизация концентрации наполнителя (5...12 г/кг) позволяет увеличить размеры свариваемых деталей. Улучшение условий проходимости ультразвуковых колебаний при такой концентрации не сопровождается уменьшением температурного интервала вязкотекучего состояния, что дает возможность транспортировать энергию ультразвуковых колебаний на большие расстояния свариваемых изделий.

Задача технологических исследований сводилась к выбору красителей, наполнителей, их концентрации и режимов сварки. Исходя из

термостойкости, светопогодоустойчивости, красящей и кроющей способностей и других свойств выбрали некоторые виды и концентрации красителей и дисперсных наполнителей. Испытания их СС провели в различных климатических условиях: при перепаде температур от -40 до 40 °С, высокой влажности (80...90 %) и воздействии солнечных лучей.

Абсолютные значения прочности, стабильность результатов при использовании различных красителей и наполнителей, а также прочность СС при длительном хранении изделий (12, 24 месяца) в различных климатических условиях с соблюдением предложенных рекомендаций значительно возросли.

При применении рекомендуемых красителей и дисперсных наполнителей с соблюдением их концентрации брак изделий уменьшился на 20 %, а время отливки деталей — на 15 %.

Обоснована и предложена замена основного пигмента — наполнителя литопона диоксидом титана, обладающим большей кроющей способностью, термо- и светопогодостойкостью, что позволяет использовать его при оптимальной концентрации.

Выводы

1. Определен механизм влияния дисперсных наполнителей, вводимых в полимер, на процесс теплообразования при УЗС. Предлагаемая формула позволяет определить коэффициент удельной мощности теплообразования для наполненных полимеров.

2. Оптимизация концентрации красителей и наполнителей сокращает время сварки по сравнению с чистым полимером на 10...15 % за счет уменьшения энергии, необходимой для разогрева полимера, и дает возможность увеличить толщину свариваемых изделий на 50 %.

3. Оптимальные свариваемость, прочность и качество изделий при УЗС достигнуты для концентрации 0,1...1,5 г/кг жирорастворимых красителей и органических пигментов и для концентрации 5...12 г/кг дисперсных наполнителей и неорганических пигментов.

Литература

- [1] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [2] Volkov S.S. Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes. *Welding international*, 2009, vol. 23(10), pp. 789–795, doi: 10.1080/09507110903092993

- [3] Волков С.С., Малолетков А.В., Коберник Н.В. Особенности образования сварных соединений при ультразвуковой сварке пластмасс. *Сварочное производство*, 2018, № 2, с. 50–55.
- [4] Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. *Основы технологии переработки пластмасс*. Москва, Мир, 2006. 597 с.
- [5] Кириш И.А., Помогова Д.А., Согрина Д.А. Изучение воздействия ультразвуковых колебаний на свойства и структуру вторичных полимерных материалов на основе полипропилена и полиэтилентерефталата. *Пластические массы*, 2012, № 10, с. 62–64.
- [6] Волков С.С., Неровный В.М., Бигус Г.А. Объемное развитие взаимодействия свариваемых поверхностей при ультразвуковой сварке пластмасс. *Сварка и диагностика*, 2017, № 6, с. 50–53.
- [7] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastics. *Welding International*, 2008, vol. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561
- [8] Волков С.С., Неровный В.М., Ремизов А.Л. Способы повышения производительности ультразвуковой сварки полимерных пленок. *Сварочное производство*, 2018, № 6, с. 46–52.
- [9] Волков С.С. Анализ процесса теплообразования при ультразвуковой сварке пластмасс. *Сварочное производство*, 2014, № 4, с. 41–45.
- [10] Волков С.С., Неровный В.М., Станкевич И.В. Решение задачи о разогреве полимерных материалов при ультразвуковой сварке. *Сварка и диагностика*, 2018, № 2, с. 21–24.
- [11] Кархин В.А. *Тепловые процессы при сварке*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2013. 646 с.
- [12] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496, doi: 10.1080/09507116.2015.1090180
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastics. *Welding International*, 2013, vol. 27(3), pp. 63–66, doi: 10.1080/09507116.2012.695155

References

- [1] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya publ., 2001. 376 p.
- [2] Volkov S.S. Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes. *Welding international*, 2009, vol. 23(10), pp. 789–795, doi: 10.1080/09507110903092993
- [3] Volkov S.S., Maloletkov A.V., Kobernik N.V. Peculiarities of formation of welded joints in ultrasonic welding of plastics. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2018, no. 2, pp. 50–55 (in Russ.).
- [4] Vlasov S.V., Kandyrin L.B., Kuleznev V.N. *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass* [Basics of plastics processing technology]. Moscow, Mir publ., 2006. 597 p.
- [5] Kirsh I.A., Pomogova D.A., Sogrina D.A. Study of the effect of ultrasonic vibrations on the properties and structure of secondary polymeric materials based on polypropylene and polyethylene terephthalate. *Plasticheskie massy*, 2012, no. 10, pp. 62–64 (in Russ.).
- [6] Volkov S.S., Nerovny V.M., Bigus G.A. Volumetric development of the interaction of welded surfaces during ultrasonic welding of plastics. *Welding and Diagnostics*, 2017, no. 6, pp. 50–53 (in Russ.).
- [7] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastics. *Welding International*, 2008, vol. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561
- [8] Volkov S.S., Nerovny V.M., Remizov A.L. Methods for increasing the productivity of polymer films ultrasonic welding. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2018, no. 6, pp. 46–52 (in Russ.).
- [9] Volkov S.S. Heat build-up procedure analysis at ultrasonic welding of plastics. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2014, no. 4, pp. 41–45 (in Russ.).
- [10] Volkov S.S., Nerovny V.M., Stankevich I.V. Solving the problem of heating polymeric materials for ultrasonic welding. *Welding and Diagnostics*, 2018, no. 2, pp. 21–24.
- [11] Karkhin V.A. *Teplovyie protsessy pri svarke* [Thermal processes during welding]. Sankt-Petersburg, SPbSTU publ., 2013. 646 p.

- [12] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496, doi: 10.1080/09507116.2015.1090180
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastics. *Welding International*, 2013, vol. 27(3), pp. 63–66, doi: 10.1080/09507116.2012.695155

Статья поступила в редакцию 15.04.2019

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: ssv@bmstu.ru).

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

РЕМИЗОВ Андрей Леонидович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология 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).

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: ssv@bmstu.ru).

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

REMIZOV Andrei Leonidovich — Candidate of Science (Eng.), Associate 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: remizoff.andrew@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Коновалов А.В., Ремизов А.Л. Влияние наполнителей и красителей на качество сварных соединений при ультразвуковой сварке пластмасс. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 1, с. 13–20, doi: 10.18698/0536-1044-2020-1-13-20

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Kononov A.V., Remizov A.L. The Influence of Fillers and Dyes on the Quality of Weld Joints at Ultrasonic Welding of Plastics. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2020, no. 1, pp. 13–20, doi: 10.18698/0536-1044-2020-1-13-20