

УДК 621.791.16

doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-46-53

Ультразвуковая сварка впрессовкой в постоянный и переменный зазор изделий из жестких пластмасс

С.С. Волков, В.М. Неровный, Г.А. Бигус

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ultrasonic Welding by Pressing into Constant and Variable Gaps in Rigid Plastic Products

S.S. Volkov, V.M. Nerovnyy, G.A. Bigus

Bauman Moscow State Technical University

Рассмотрены способы сварки впрессовкой в постоянный и переменный зазоры соединительных элементов. Разработана технология ультразвуковой сварки многоэлементных изделий различного типа из жестких пластмасс с нахлесточными, стыковыми и угловыми соединениями, стержней неограниченной длины из полистирола и полиметилметакрилата. Предложены технология и кондуктор для ультразвуковой сварки впрессовкой соединительного элемента в постоянный зазор. Получены стабильные по прочности и прозрачности соединения пластин, расположенных параллельно друг другу. Установлено, что коэффициент концентрации энергии, выделяемой в единице объема деталей при ультразвуковой сварке, существенно зависит от площади контакта между ними. При конструировании стыка свариваемых деталей необходимо предусматривать разделку кромок для уменьшения площади контакта между ними. В случае применения в конструкции V-образного выступа угол при его вершине должен приближаться к 90° . Определены оптимальные технологические параметры режима ультразвуковой сварки впрессовкой в постоянный зазор.

Ключевые слова: многоэлементные изделия, ультразвуковая сварка впрессовкой, технологический зазор, амплитуда колебаний волновода, статическое сварочное давление, соединительный элемент

This work examines methods of welding by pressing connecting elements into constant and variable gaps. A technique for ultrasonic welding of multi-element products of various types made of rigid plastic with overlapping, butt and corner joints as well as polystyrene and polymethyl methacrylate rods of unlimited length is developed. A technique and a tool for ultrasonic welding by pressing a connecting element into a constant gap is proposed. The welded joints of plates arranged parallel to each other prove to be consistent in terms of strength and transparency. It is established that the coefficient of concentration of energy released per unit of volume of the parts being welded greatly depends on the contact area between them. When designing a welded seam, it is necessary to ensure edge preparation to reduce the contact area between the welded parts. In the case of a V-shaped protrusion in the design, the angle at its top should be approaching 90° . The optimal technological parameters for ultrasonic welding by pressing into a constant gap are determined.

Keywords: multielement products, ultrasonic molding, technological gap, waveguide oscillation amplitude, welding static pressure, connecting element

Увеличение объема выпуска пластмасс и синтетических материалов предполагает совершенствование существующих и разработку новых способов их соединения, обеспечивающих существенное улучшение качества и увеличение срока службы изделий [1]. В связи с этим возникает потребность в различных способах сборки и сварки изделий из отдельных элементов [2], а также в разработке новых технологий ультразвуковой сварки (УЗС) многоэлементных изделий различного типа из жестких пластмасс с нахлесточными стыковыми и угловыми сварными соединениями (СС).

В данной работе проведено экспериментальное исследование распределения сварочных напряжений в таких жестких пластмассах, как полистирол и полиметилметакрилат, при статическом сварочном давлении (далее статическое давление) под действием ультразвуковых (УЗ) колебаний многоэлементных изделий. Последние состояли из ряда пластин, установленных параллельно друг другу, соединяемых между собой последовательной впредсровкой соединительного элемента (СЭ) в виде вкладыша с одним или несколькими V-образными выступами с обоих торцов изделия.

Предложены и разработаны новые способы УЗС впредсровкой в постоянный и переменный зазоры СЭ.

Цель работы — исследование процесса и разработка технологии УЗС многоэлементных изделий из жестких пластмасс, расположенных параллельно друг другу.

УЗС впредсровкой в постоянный зазор. При таком типе УЗС (рис. 1, а) УЗ-колебания передаются в зону сварки через СЭ 3, который является деталью детектора. Его размеры определяют расстояние между свариваемыми пластинами 2, расположенными параллельно друг другу в специальном кондукторе 4. Расстояние $b = a + c$, где a — ширина СЭ; c — технологический зазор между пластинами.

Сварка осуществляется расплавлением V-образного выступа и материала пластин. Расстояние между соединяемыми пластинами, предварительно заданное установочным вкладышем 1 и кондуктором, в процессе УЗС остается постоянным.

УЗС впредсровкой в переменный зазор. При таком типе УЗС (рис. 1, б) УЗ-колебания также передаются в зону сварки через СЭ, который

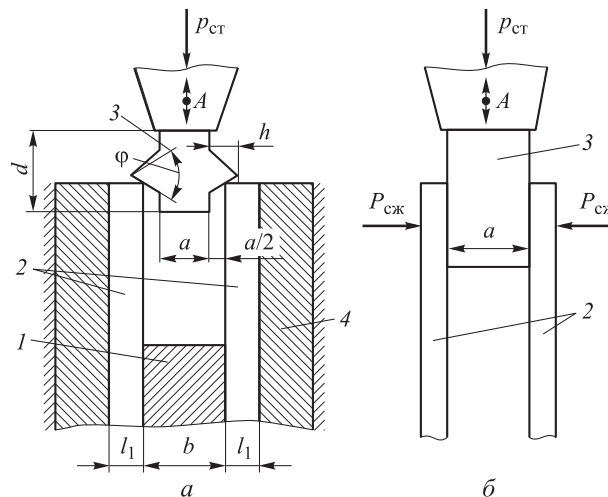


Рис. 1. УЗС впредсровкой в постоянный (а) и переменный (б) зазоры:

$P_{ст}$ — статическое давление; A — амплитуда колебаний рабочего торца волновода; l — толщина пластин; h и φ — высота и угол при вершине V-образного выступа; d и a — высота и ширина СЭ; $P_{сж}$ — сжимающее усилие

зажат между свариваемыми пластинами 2, сжимающим усилием $P_{сж}$. Сварка осуществляется расплавлением прилегающих друг к другу слоев соединительных вкладышей и пластин. В процессе УЗС расплавленный полимер выдавливается из зоны контакта пластин с СЭ и пластины сближаются, т. е. расстояние между ними уменьшается.

Специфика предложенных способов УЗС и требования к СС (к прозрачности шва) не позволяют использовать рекомендации по выбору оптимальных режимов сварки.

В результате исследования УЗС впредсровкой в переменный зазор установлено, что такой способ сварки не обеспечивает прозрачность шва по всей площади соединения. Кроме того, размеры связываемых деталей должны быть выдержаны, что усложняет технологический процесс. Поэтому далее в основном исследовали УЗС впредсровкой в постоянный зазор [3, 4].

Основные параметры режима УЗС впредсровкой в постоянный зазор: A — амплитуда колебаний рабочего торца волновода; f — частота колебаний сварочного узла; $t_{св}$ — продолжительность УЗ-импульса (время сварки); $P_{ст}$ — статическое давление; d и a — высота и ширина СЭ; l — толщина пластин; h и φ — высота и угол при вершине V-образного выступа; c — технологический зазор между пластинами.

Для определения оптимального сочетания параметров режима УЗС впредсровкой, соответствующего наибольшей разрывной нагрузке со-

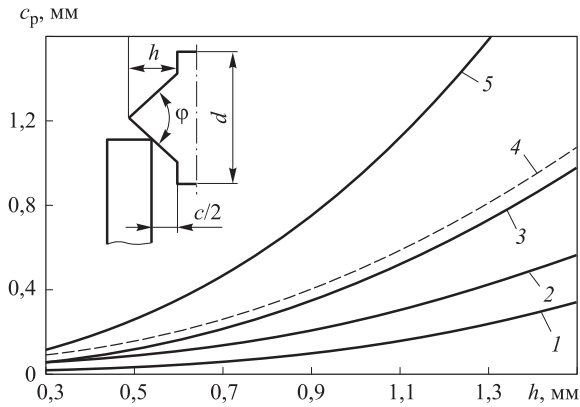


Рис. 2. Зависимость расчетного технологического зазора c_p между свариваемыми пластинами и СЭ от высоты V-образного выступа h при угле $\varphi = 60$ (1), 90 (2, 4), 120 (3) и 150° (5)

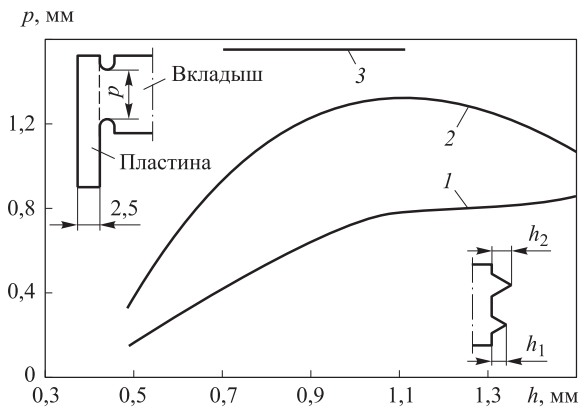


Рис. 3. Зависимость ширины прозрачного участка сварного шва p от высоты V-образного выступа h при $A = 25$ мкм, $p_{ст} = 0,8$ МПа, $\varphi = 90^\circ$ и $c = 0,4$ мм для СЭ разной конфигурации:

1 — с одним выступом; 2 — с двумя выступами одинаковой высоты; 3 — с двумя выступами разной высоты ($h_1 = 0,7$ мм; $h_2 = 1,1$ мм)

единений и прозрачности шва по всей площади, использовали классический метод ограничения длительности УЗ-импульса по схеме с фиксированной осадкой, равной высоте СЭ d [5–7].

Выбор пределов регулирования основных параметров режима УЗС впрессовкой в постоянный зазор основан на следующем. Для получения прозрачного по всей площади сварки шва способом впрессовки (см. рис. 1, а) необходимо, чтобы объем V-образного выступа заполнил зазор между пластинами и СЭ [8, 9].

Исследование зависимости расчетного технологического зазора c_p между свариваемыми пластинами и СЭ от высоты V-образного выступа h и угла при его вершине φ . Результаты этого исследования приведены на рис. 2, где

штриховой линией показана зависимость $c_p = f(h)$ для СЭ с двумя выступами, а сплошными — для СЭ с одним выступом. В расчетах принято, что высота СЭ $d = 8$ мм.

Частота УЗ-колебаний во всех экспериментах была постоянной и составляла 22 кГц. Остальные параметры режима варьировали в следующих диапазонах: $A = 13 \dots 44$ мкм; $l = 2,5 \dots 12,0$ мм; $h = 0,5 \dots 1,5$ мм; $\varphi = 60 \dots 150^\circ$; $p_{ст} = 0,2 \dots 1,3$ МПа. При амплитуде колебаний рабочего торца волновода $A < 13$ мкм сварки не было. Интервал изменения статического давления выбрали на основании данных предварительных экспериментов [10].

Исследование зависимости ширины прозрачного участка сварного шва p от высоты V-образного выступа h . Результаты исследования приведены на рис. 3, где видно, что при УЗС впрессовкой СЭ с одним выступом прозрачный участок расширяется с увеличением h . Возрастание ширины p прекращается при $h > 1$ мм (кривая 1). Впрессовка СЭ с двумя выступами одинаковой высоты ($h_1 = h_2$) приводит к росту ширины p при $h = 0,5 \dots 1,0$ мм, почти пропорциональному числу выступов. При большей высоте V-образного выступа прозрачный участок сужается (кривая 2).

Для выявления возможности увеличения ширины прозрачного участка (площади соединения) исследовали механизм образования СС при УЗС впрессовкой фигурного (с V-образными выступами) СЭ в постоянный зазор. Срезы швов, полученные на различных стадиях сварки, изучали под микроскопом.

В начальный момент УЗС происходит небольшая пластическая деформация зоны контакта пластины с одной стороны боковых граней V-образного выступа (рис. 4, а). Дальнейшее воздействие УЗ-колебаний приводит к частичному оплавлению выступа и ребра пластины (рис. 4, б).

Одна часть расплавленного полимера затекает в зазор между СЭ и пластиной, а другая выдавливается наружу, образуя грат. Выступ плавится почти полностью, а контактирующий с ним слой пластины — частично. Большая часть расплавленного полимера увлекается соединительным вкладышем, движущимся вниз под действием статического давления, и выдавливается в грат у корня шва (рис. 4, в).

Механизм образования СС при впрессовке СЭ с двумя V-образными выступами ($h_1 = h_2 < 1,0$ мм)

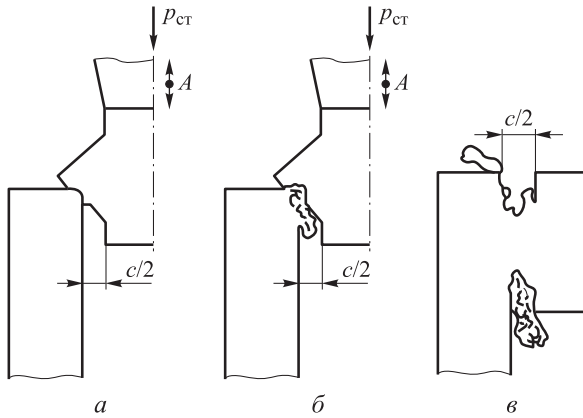


Рис. 4. Схема механизма образования СС при УЗС впрессовкой фигурного СЭ

идентичен таковому с одним выступом. Но при $h_1 = h_2 > 1,0 \dots 1,2$ мм происходит качественное изменение в процессе образования сварного шва: второй выступ впрессовывается в зазор, который существенно отличается от установленного.

Уменьшение устанавливаемого технологического зазора c приводит к тому, что вместе с его возрастанием в процессе впрессовки срезается часть (вершина) V-образного выступа. Последняя остается в зоне шва и является одной из причин снижения его прочности и прозрачности наряду с ростом технологического зазора c относительно оптимального значения ($c_{\text{опт}} = 0,4 \dots 0,7$ мм). Это связано с тем, что ухудшаются условия растекания расплава полимера между свариваемой пластиной и СЭ, т. е. расплав полимера остывает и переходит в высокоэластическое или твердое состояние раньше, чем заполнит свободный объем [10, 11].

Из приведенного анализа механизма образования СС при УЗС впрессовкой следует, что для расширения прозрачного участка необходимо увеличить число V-образных выступов на СЭ. При этом необходимо, чтобы высота второго выступа была больше, чем у первого ($h_2 > h_1$). Кроме того, высота h_1 должна быть меньше либо равна 1 мм, так как при $h > 1$ мм не происходит заметного возрастания ширины прозрачного участка (см. рис. 3, кривая 1).

При изучении зависимости $p = f(h_1, h_2)$ установлено, что максимальная ширина прозрачного участка $p_{\text{max}} = 7,8$ мм соответствует СЭ с двумя выступами разной высоты ($h_1 = 0,7$ мм, $h_2 = 1,1$ мм, $\varphi_1 = \varphi_2 = 90^\circ$). Дальнейшие исследования, кроме определения связей между углом φ и прозрачностью шва, проводили с применением СЭ указанных размеров.

Экспериментальное исследование зависимости прочности на растяжение СС σ от технологического зазора c и угла при вершине V-образного выступа φ при использовании в качестве свариваемого материала полиметилметакрилата. Результаты исследования приведены на рис. 5, где видно, что оптимальным является зазор $c = 0,4 \dots 0,7$ мм. В этом диапазоне технологического зазора разрушение обычно происходило по основному материалу. При $c > 1,0$ мм первый выступ сминался после приложения статического давления, и часть СЭ впрессовывалась между пластинами до включения УЗ-колебаний. При их включении образование СС происходило путем оплавления второго выступа.

Резкое уменьшение прочности при $\varphi > 90^\circ$ связано с защемлением СЭ между свариваемыми пластинами и его оплавлением в зоне контакта с волноводом. При $\varphi = 60^\circ$ V-образные выступы в процессе впрессовки срезаются совместным действием статического давления и УЗ-колебаний.

Исследование влияния толщины свариваемых пластин l на прочность СС. Результаты исследования показали, что в диапазоне $2,5 \text{ мм} \leq l \leq 12 \text{ мм}$ разрушение соединения, полученного ультразвуковой впрессовкой СЭ при оптимальных режимах, всегда происходит по основному материалу. При этом в зависимости от толщины пластин изменяется характер разруше-

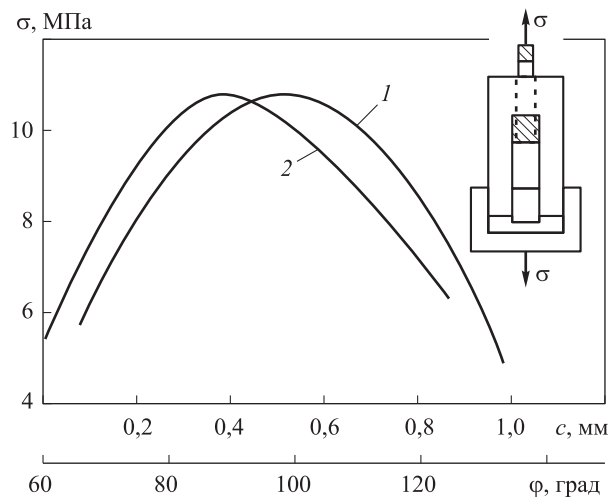


Рис. 5. Зависимость прочности на растяжение СС σ от параметров режима:

1 — технологического зазора c при $\varphi = 90^\circ$, $A = 25$ мкм, $p_{\text{ст}} = 0,8$ МПа; 2 — угла φ при $c = 0,4$ мм, $A = 25$ мкм, $p_{\text{ст}} = 0,8$ МПа

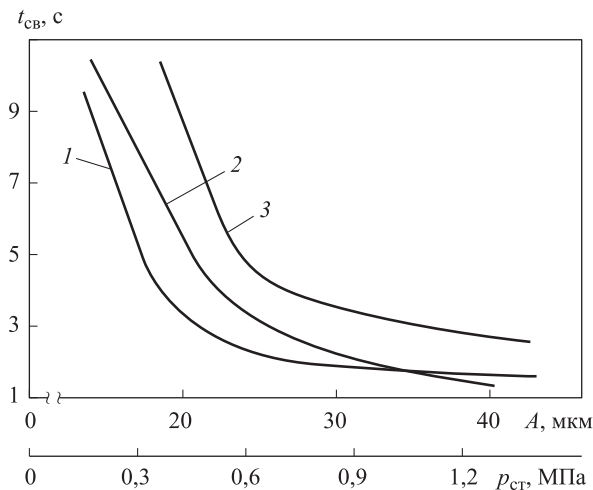


Рис. 6. Зависимость времени сварки впредсровкой $t_{св}$ от параметров режима:

1 и 3 — амплитуды колебаний рабочего торца волновода A при $p_{ст} = 0,8$ и $0,5$ МПа; 2 — статического давления $p_{ст}$ при $A = 25$ мкм

ния. Например, при толщине $l = 2,5...4,0$ мм одна из пластин разрывается в околошовной зоне полностью, а при $l = 10...12$ мм — не полностью, т. е. разрушение происходит с вырывом части пластины по диагонали, проведенной с противоположного к зоне сварки ребра к корню шва.

Исследование зависимости времени сварки впредсровкой $t_{св}$ от амплитуды колебаний рабочего торца волновода A и статического давления $p_{ст}$ при использовании в качестве свариваемого материала полиметилметакрилата. Результаты этого исследования приведены на рис. 6, где видно, что более высокому уровню статического давления соответствует меньшее время сварки (кривые 1, 3). С увеличением амплитуды ($A > 25...30$ мкм) при $p_{ст} = 0,8$ МПа (кривая 1) время сварки уменьшается незначительно. Вероятно, при амплитуде $A \leq 25...30$ мкм между рабочим торцом волновода и СЭ нарушается плотный акустический контакт [12].

Зависимость между временем сварки и амплитудой колебаний рабочего торца волновода отражает сложные явления, происходящие в процессе УЗС с впредсровкой. Как и при контактной УЗС, время сварки впредсровкой является интегральной характеристикой. При ограничении длительности УЗ-импульса по фиксированной осадке $t_{св}$ складывается из времени разогрева первого V-образного выступа до температуры вязкотекучего состояния, времени осадки СЭ до соприкосновения второго высту-

па со свариваемой пластиной, времени разогрева второго выступа до температуры вязкотекучего состояния и времени осадки СЭ на заданное значение.

В зависимости от амплитуды колебаний рабочего торца волновода A процесс УЗС завершается полной или частичной впредсровкой СЭ. В интервале амплитуды $15...17$ мкм $< A < 25...30$ мкм при давлении $p_{ст} = 0,8$ МПа происходит полная впредсровка СЭ между пластинами.

Изменение амплитуды относительно указанного интервала при $p_{ст} = 0,8$ МПа ведет к оплавлению СЭ в зоне контакта с рабочим торцом волновода, т. е. одна часть соединительного вкладыша оплавляется, а другая впредсровывается. Переход от полной впредсровки к впредсровке с оплавлением происходит при $A > 30$ мкм, а увеличение амплитуды до 40 мкм приводит к тому, что оплавляются около 38...50 % общей высоты СЭ (3...4 мм).

Очевидно, что качественное СС можно получить при полной впредсровке СЭ, которому соответствует максимальная ширина прозрачного участка $p_{max} = 7,8$ мм. Существенное влияние на механизм образования СС и время сварки впредсровкой оказывает статическое давление (см. рис. 6, кривая 2), действие которого необходимо рассматривать совместно с амплитудой колебаний рабочего торца волновода.

Исследование влияния статического давления $p_{ст}$ на процесс образования СС и время сварки впредсровкой при амплитуде колебаний рабочего торца волновода $A = 25$ мкм. Как и при контактной УЗС, статическое давление при УЗС впредсровкой изменяет коэффициент концентрации энергии в зоне контакта соединяемых деталей. Известно, что только при определенном уровне $p_{ст}$ обеспечивается акустический контакт между рабочим торцом волновода и свариваемым полимером.

Следовательно, для обеспечения полного акустического контакта между волноводом и СЭ статическое давление необходимо повышать, а для увеличения коэффициента концентрации энергии в зоне УЗС — понижать. Кроме того, рост статического давления ведет к линейному падению температуры перехода полимера в вязкотекучее состояние [12, 13].

Результаты исследования. На основании данных исследования процесса УЗС впредсровкой образцов полиметилметакрилата и полистирола, а

Основные параметры режима сварки впрессовкой детектора

| Материал детектора | Амплитуда колебаний рабочего торца волновода, мкм | Статическое давление, МПа | Технологический зазор c , мм |
|-----------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|
| Дублированный полиметилметакрилат | 25...30 | 0,8 | 0,4 |
| Дублированный блочный полистирол | 25...30 | 0,6 | 0,3 |

также механизма образования СС можно заключить, что оптимальными являются следующие параметры: $c = 0,4 \dots 0,7$ мм, $A = 25 \dots 30$ мкм, $p_{ст} = 0,8$ МПа, $h_1 = 0,7$ мм, $h_2 = 1,1$ мм и $t_{св} = 2,2$ с.

Результаты исследования процесса УЗС впрессовкой СЭ в постоянный зазор использовали при разработке технологии сборки детекторов. Основные параметры режима сварки впрессовкой детектора, состоящего из десяти пластин, приведены в таблице.

Благодаря большой надежности СС уменьшен размер деталей изделия с 9 до 6 мм, что позволило сэкономить материалы. Применение УЗС многоэлементных изделий из полиметилметакрилата и полистирола вместо склеивания вредными (токсичными) для здоровья человека клеями обеспечило сокращение производственных площадей (снижение срока выдержки продукции на сушку клея) и повышение культуры производства.

Выводы

1. Разработаны технология и кондуктор для УЗС впрессовкой СЭ в постоянный зазор.

2. Предложенная технология УЗС многоэлементных изделий из полиметилметакрилата и полистирола позволяет получать качественные стыковые и угловые соединения стержней неограниченной длины, а также стабильные по прочности и прозрачности соединения между десятью и более пластинами, расположенными параллельно друг другу.

3. Установлено, что коэффициент энергии, выделяемой в единице объема деталей при УЗС, существенно зависит от площади контакта между ними.

4. При конструировании стыков свариваемых деталей необходимо предусматривать разделку кромок для уменьшения площади контакта между ними с углом при вершине, близким к 90° .

Литература

- [1] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [2] Волков С.С. Ультразвуковая стыковая сварка жестких пластмасс. *Сварочное производство*, 2011, № 9, с. 15–20.
- [3] Волков С.С. Влияние разделки кромок на свариваемость пластмасс при ультразвуковой сварке. *Сварочное производство*, 2013, № 4, с. 24–27.
- [4] Волков С.С. Технологические возможности ультразвуковой сварки капролона. *Сварочное производство*, 2008, № 8, с. 29–35.
- [5] Волков С.С. Ультразвуковая сварка изделий круглой формы из полиамида 610. *Сварочное производство*, 2010, № 8, с. 42–46.
- [6] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Ultrasonic welding of polyamide sealing gaskets using infrared radiation. *Welding International*, 2016, vol. 30(2), pp. 150–154, doi: 10.1080/09507116.2015.1036535
- [7] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints rigid plastics. *Welding International*, 2003, vol. 17(6), pp. 482–486, doi: 10.1533/wint.2003.3154
- [8] Volkov S.S. Ultrasound welding of brush elements. *Welding International*, 2012, vol. 26(10), pp. 796–799, doi: 10.1080/09507116.2011.653164
- [9] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, vol. 27(7), pp. 720–724, doi: 10.1080/09507116.2012.753281
- [10] Тагер А.А. *Физико-химия полимеров*. Москва, Научный мир, 2007. 576 с.
- [11] Маслов Б.Г., Выборнов А.П. *Производство сварных конструкций*. Москва, Академия, 2015. 288 с.

- [12] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Welding International*, 2010, vol. 15(7), pp. 583–584, doi: 10.1080/09507110109549409
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components welding of plastic components. *Welding International*, 2012, vol. 26(4), pp. 322–324, doi: 10.1080/09507116.2011.606161

References

- [1] Volkov S.S. *Svarka i skleivaniye polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya publ., 2001. 376 p.
- [2] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastics. *Welding International*, 2011, no. 9, pp. 15–20 (in Russ.).
- [3] Volkov S.S. The effect of edge cutting on the weldability of plastics in ultrasonic welding. *Welding International*, 2013, no. 4, pp. 24–27 (in Russ.).
- [4] Volkov S.S. Technological capabilities of caprolon ultrasonic welding. *Welding International*, 2008, no. 8, pp. 29–35 (in Russ.).
- [5] Volkov S.S. Ultrasonic weld of the rounded products from the polyamide 610. *Welding International*, 2010, no. 8, pp. 42–46 (in Russ.).
- [6] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Ultrasonic welding of polyamide sealing gaskets using infrared radiation. *Welding International*, 2016, vol. 30(2), pp. 150–154, doi: 10.1080/09507116.2015.1036535
- [7] Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints rigid plastics. *Welding International*, 2003, vol. 17(6), pp. 482–486, doi: 10.1533/wint.2003.3154
- [8] Volkov S.S. Ultrasound welding of brush elements. *Welding International*, 2012, vol. 26(10), pp. 796–799, doi: 10.1080/09507116.2011.653164
- [9] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, vol. 27(7), pp. 720–724, doi: 10.1080/09507116.2012.753281
- [10] Tager A.A. *Fiziko-khimiya polimerov* [Physical chemistry of polymers]. Moscow, Nauchnyy mir publ., 2007. 576 p.
- [11] Maslov B.G., Vybornov A.P. *Proizvodstvo svarnykh konstruksiy* [Production of welded structures]. Moscow, Akademiya publ., 2015. 288 p.
- [12] Fomenko A.F., Volkov S.S. Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Welding International*, 2010, vol. 15(7), pp. 583–584, doi: 10.1080/09507110109549409
- [13] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components welding of plastic components. *Welding International*, 2012, vol. 26(4), pp. 322–324, doi: 10.1080/09507116.2011.606161

Статья поступила в редакцию 26.03.2019

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: map@bmstu.ru).

НЕРОВНЫЙ Вячеслав Михайлович — 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: vmn@rambler.ru).

БИГУС Георгий Аркадьевич — 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: gabigus@rambler.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Неровный В.М., Бигус Г.А. Ультразвуковая сварка впрессовкой в постоянный и переменный зазор изделий из жестких пластмасс. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 9, с. 46–53, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-46-53

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Nerovnyy V.M., Bigus G.A. Ultrasonic Welding by Pressing into Constant and Variable Gaps in Rigid Plastic Products. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 9, pp. 46–53, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-46-53

Information about the authors

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

NEROVNYY Vyacheslav Mikhailovich — 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: vmn@rambler.ru).

BIGUS Georgiy Arkadievich — 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: gabigus@rambler.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие П.П. Телепнева, Д.А. Кузнецова

Под редакцией д-ра техн. наук, профессора В.В. Ефанова

«Основы проектирования транспортных космических систем»

Рассмотрены основы проектирования виброзащиты прецизионных космических аппаратов для улучшения разрешающей способности устанавливаемой на борту целевой аппаратуры при влиянии динамических источников возмущений. Представлены методы и средства виброзащиты, а также принципы работы, математические модели и практические примеры создания виброзащитных устройств. Приведен инженерный алгоритм в виде структурной схемы обеспечения виброзащиты космических конструкций для практической реализации.

Для студентов аэрокосмического факультета, обучающихся по специальностям «Проектирование летательных аппаратов и их комплексов», «Космические аппараты и разгонные блоки», также может представлять интерес для специалистов предприятий космической отрасли.

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