УДК 621.791.46/.48:621.791.16

СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ШВА, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Бийск

В статье представлены результаты разработки стенда для контроля качества сварного шва, формируемого ультразвуковой сваркой. Предложенный, разработанный и практически реализованный стенд позволил осуществлять контроль процесса формирования сварного шва при ультразвуковой сварке. Результаты контроля позволили визуально исследовать процесс и устанавливать режимы сварки, обеспечивающие максимальное качество шва.

Ключевые слова: ультразвук, сварка, процесс, термопластичный материал, сварной шов, качество.

ВВЕДЕНИЕ

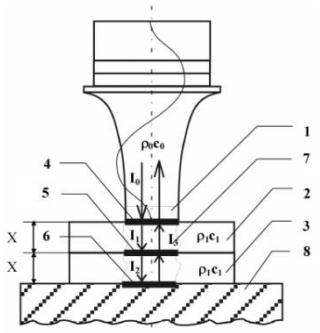
Решение технологических проблем современных производств во многих случаях требует формирования качественных, герметичных сварных соединений при производстве изделий из термопластичных полимерных материалов. При этом, возникает необходимость формировать швы различной формы в труднодоступных местах или осуществлять сварку по загрязненным сыпучими и жидкими веществами поверхностям. В этих случаях наиболее эффективным становится применение ультразвуковой (УЗ) сварки [1-3].

При УЗ сварке в сварном шве могут образовываться дефекты, проявляющиеся в процессе эксплуатации изделий. Типичными примерами дефектов сварного шва являются поры, газовые полости, трещины, непровары, нарушения формы шва. Возникновение дефектов может быть обусловлено недостатком энергии, выделяемой в зоне сварки, что не обеспечивает необходимого расплавления материалов в формируемом шве. Недостаточное расплавление материала объясняется недостаточной или неравномерной амплитудой механических ультразвуковых колебаний вдоль колеблющейся поверхности сварочного инструмента. Дефекты могут возникать также из-за чрезмерной энергии, выделяемой в зоне шва. При этом, происходит образование перегаров с последующей деструкцией термопластичных полимерных материалов. В процессе УЗ сварки, происходящего нагрева, плавления и охлаждения могут изменяться свойства материалов, что приводит их уплотнению и изменению толщины. Прочность получаемых сварных соединений при наличии дефектов всегда ниже, чем прочность исходных свариваемых материалов. Поэтому, при реализации процессов сварки возникает необходимость формирования бездефектных швов с прочностью, близкой к прочности исходного материала.

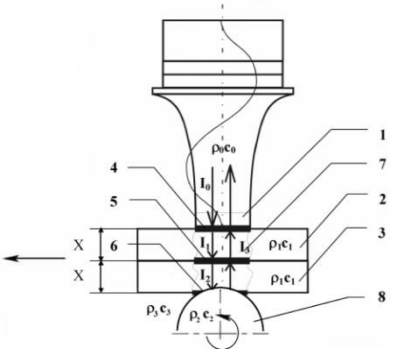
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для выявления условий формирования качественных бездефектных соединений рассмотрим процесс сварки. Процесс УЗ сварки включает прижим сварочного инструмента к поверхностям свариваемых материалов, обеспечение акустического контакта между материалами и сварочным инструментом, УЗ воздействие в течение определенного времени, и стабилизацию сварного шва [11]. На рис. 1 представлены схемы УЗ сварки.

Процесс формирования сварного соединения можно схематично представить в следующем виде [4]. Свариваемые материалы 2,3 имеющие определённую толщину ограничены с одной стороны рабочим сварочным инструментом 1, а с другой стороны опорой 8, к которой осуществляется прижим свариваемых материалов. Зоне поглощения УЗ колебаний, тепловыделения и формирования сварного соединения будет соответствовать область 6. УЗ колебания, формируемые и усиливаемые колебательной системой, вводятся на границу раздела сред посредством сварочного инструмента и свариваемых материалов 4 [9].



а)



б)

а) Схема прессовой сварки; б) Схема непрерывной сварки
1 – сварочный инструмент; 2,3 – свариваемые материалы; 4-6 – границы раздела сред материалов, инструмента и опоры; 7 – зона сварки; 8 – опора (ролик); I0-3 интенсивности УЗ колебаний

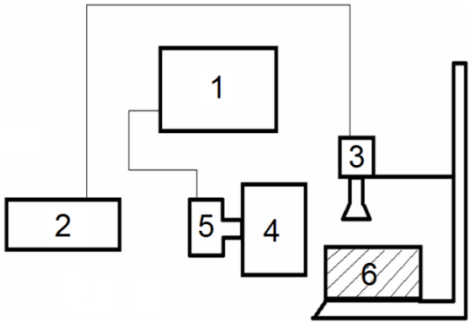
Рис. 1. Схемы ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка является быстропротекающим процессом [5], и для большинства изделий из полимерных материалов толщиной 0,02–5 мм составляет 0,2–5 сек.

По окончании этого времени происходит охлаждение и стабилизация сварного соединения в течение определённого времени.

Для формирования качественного сварного шва необходимо исследование быстропротекающего процесса формирования сварного шва при УЗ воздействии и медленно протекающего процессе его стабилизации при охлаждении материалов [7,10].

Для исследования качества формируемого сварного шва в процессе УЗ сварки создан специализированный стенд, включающий оборудование для видеофотосъемки процесса ультразвуковой сварки термопластичных материалов. Структурная схема реализованного стенда представлена на рис. 2.



1 – ПК; 2 – УЗ аппарат; 3 – колебательная система со сварочным инструментом; 4 – микроскоп; 5 – камера для видеофотосьёмки

Рис. 2. Схема и стенд для исследования качества формируемого сварного шва в процессе УЗ сварки термопластичных материалов

В состав стенда входит персональный компьютер 1 и цифровая окулярная видеокамера 5, которые позволяют, при разрешении 1024x768, обеспечить скорость передачи данных в 22 кадра в секунду, оцифровку изображения в файл, или вывод изображения исследуемого объекта на экран монитора через USB порт. При максимальном разрешении камеры 2048x1536 скорость передачи данных равна 8 кадрам в секунду, а при снижении разрешения до 680x510 скорость передачи данных достигает 43 кадра в секунду.

Камера используется совместно с микроскопом 4 «Альтами», который имеет рабочее расстояние 118 мм, диапазон плавного увеличения изображения от 7 до 45 крат и обеспечивает наблюдение объемного изображения предметов в отраженном или проходящем свете. В состав стенда входит аппарат «Гименей-ультра» 2, который предназначен для соединения конструкционных изделий и листовых материалов методом непрерывной или пошаговой низкотемпературной УЗ сварки. Колебательная система 3 со сварочным инструментом для формирования сварного шва 25x2,5 мм устанавливается в штатив, который используется для обеспечения прижима сварочного инструмента к свариваемым материалам с необходимым усилием 100-300 Н. В состав стенда также входит металлическая опора 6, на которую укладываются свариваемые материалы. Применение УЗ аппарата со штативом позволяет ввести в свариваемые материалы УЗ колебания амплитудой от 20 до 50 мкм и частотой 22+1,65 кГц.

После подключения видеокамеры к компьютеру и установки программного обеспечения Altami Studio осуществлялась настройка видеокамеры и микроскопа путём изменения резкости и фокусного расстояния до объекта исследований. Важную роль в настройке изображения играет освещение исследуемого материала. Так как при слабом освещении уменьшается скорость передачи данных видеокамеры, то для требуемого освещения использовался осветитель светодиодный с регулировкой яркости, который закрепляется на микроскопе и световой поток направляется на свариваемые материалы.

Для контроля процесса сварки изделий материалы укладывались внахлёст на опору, так что бы была видна зона сварки между пластинами (рис. 3).

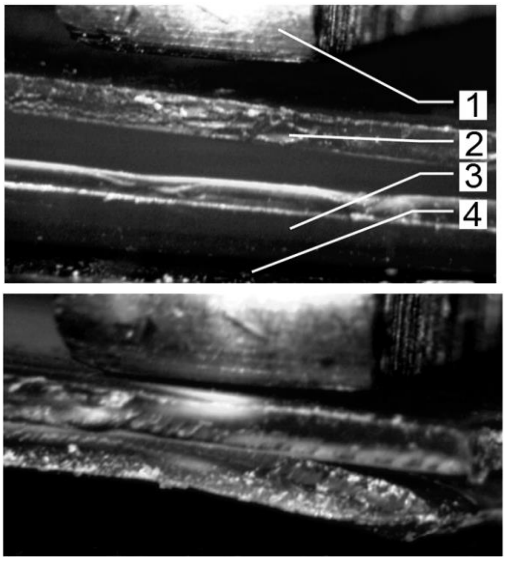
Далее для обеспечения акустического контакта осуществлялся прижим сварочным инструментом 25x2,5 мм к поверхностям свариваемых материалов.

В качестве свариваемого материала использовались две пластины из поливинилхлорида (ПВХ), толщиной 0,8 мм. При сварке формировалось сварное соединение шириной 2,5-3 мм, определяемой конфигурацией сварочного инструмента, имеющим площадь рабочей поверхности 25x2,5 мм.

По результатам видеосьемки формировался видеофайл, с набором кадров, позволяющим контролировать протекание всего процесса. Продолжительность процесса УЗ сварки составила 1,5 с. Через 0,2 с. после образования физического контакта начинается разогрев поверхностей, через 0,5 с. начинается взаимопроникновение поверхностей и уже через 1,5 с.

пластины ПВХ переходят в твердое состояние, и формируется герметичное, монолитное сварное соединение [6].

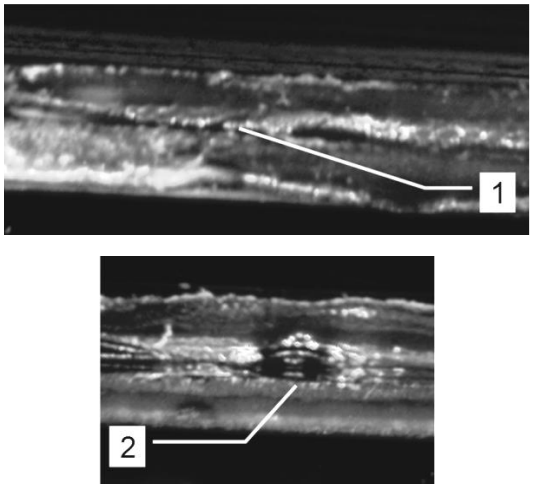
По окончании процесса формирования соединения происходит остывание и стабилизация сварного шва. Из полученных изображений следует, что в течение 0,5-1 сек. [8] осуществляется движение текучего расплавленного материала даже при отсутствии УЗ воздействия.



1 – сварочный инструмент; 2,3 – свариваемые материалы; 4 – опора

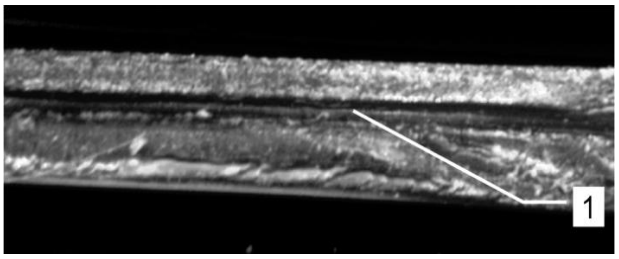
Рис. 3. Стадия обеспечения акустического контакта между сварочным инструментом и материалами

Проведённые исследования показали, что максимальное качество сварного шва (не имеющего дефектов, трещин, воздушных включений, и следов деструкции материала (рис. 4)) достигается при обеспечении равномерного по всей длине сварного шва, представленного на рис. 5.



1 – неравномерный сварной шов; 2 – дефект (газовая полость)

Рис. 4. Сварной шов с наличием дефекта (некачественный, неравномерный)



1 – равномерный сварной шов

Рис. 5. Сварной шов свариваемых материалов (качественный, равномерный)

Сварной шов в зоне контакта двух соединяемых пластин однороден по всей длине шва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный, разработанный и практически реализованный стенд позволил осуществлять контроль процесса формирования сварного шва при ультразвуковой сварке. Результаты контроля позволили визуально исследовать процесс и устанавливать режимы сварки, обеспечивающие максимальное качество шва.

Проведенные при помощи созданного стенда исследования позволили установить, что скорость протекания процесса и качество формируемого сварного шва определяется амплитудой колебаний, временем УЗ воздействия и давлением сварочного инструмента.

Амплитуда колебаний подбирается и не в пределах от 40 мкм до 80 мкм. Время сварки, при заданной амплитуде, определяет количество энергии, вводимой в свариваемое изделие.

Увеличение длительности ультразвукового воздействия по сравнению с оптимальным приводит к перегреву материала в зоне сварки и его деструкции, что значительно снижает прочность сварного соединения. Уменьшение времени ультразвукового воздействия не позволяет нагреть материал в зоне сварки, что приводит к снижению интенсивности диффузионных процессов и в конечном результате, образованию менее прочных сварных соединений.

Визуальные наблюдения на стенде позволили увидеть, что чрезмерное увеличение давления приводит к интенсивной деформации материала в зоне сварки, выдавливанию расплавленного материала из сварной зоны, значительному уменьшению толщины изделия в зоне сварки и как следствие к снижению его прочности. Недостаточное давление также не обеспечивает надежного сварного соединения вследствие недостаточной величины энергии, доставляемой в зону сварки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сливин, А. Н. Создание ультразвуковых аппаратов с оптимизацией энергетического воздействия для повышения эффективности сварки [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.03.02: защищена 25.12.08: утв. 10.04.09 / Сливин Алексей Николаевич. – Бийск., 2008. – 180 с. – Библиогр.: с. 145–148. – 04200951578.

2. Khmelev, V.N., A. N. Slivin, and A. D. Abramov, “Perfecting of the Technology and Development of the Apparatuses for Ultrasonic Welding,” 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM, 2013, pp. 182–186, July 2013.

3. Хмелев, В.Н. Повышение эффективности энергетического воздействия при ультразвуковой сварке / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. –№ 3. –С. 278–281.

4. Способ повышения качества работы систем ФАПЧ электронных ультразвуковых технологических аппаратов / В.Н. Хмелёв [и др.] //Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях 3-я Всероссийская научно-техническая конференция – 2002.– С. 178-184.

5. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, A. D. Abramov, “Model of process and calculation of energy for a heat generation of a welded joint at ultrasonic welding polymeric thermoplastic materials,” 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07 - Proceedings 2007 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07. Russian Foundation of Basic Researches (RFBR), 2007, pp. 316–322, July 2007.

6. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография [Текст] / В.Н. Хмелев [и др.]; под ред. В.Н. Хмелева. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 281 с.

7. Хмелев, В.Н. Совершенствование ультразвуковой сварки и создание аппаратов для её реализации / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 4. – С. 152–157.

8. Khmelev, V. N., et al, ”Theoretical investigations of continuous ultrasonic seam welding of thermoplastic polymers and fabrics,” 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010, 2010, pp. 341-344, July 2010.

9. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, A. D. Abramov,”Research of ultrasonic welding of polymer ring-shaped materials,” 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010, 2010, pp. 345-349, July 2010.

10. Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК7 A61J1/05, B65B51/22. Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки компонентов крови [Текст] / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» – №ГОСТ 2004115358/14; заявл. 20.05.04; опубл. 10.02.06, Бюл. № 4. – 3 с.: ил.

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432481, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Сливин Алексей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: san@bti.secna.ru.

Абрамов Алексей Дмитриевич – инженер кафедры технологии машиностроения и качества, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432581, e-mail: abramov@bti.secna.ru.

STAND FOR QUALITY CONTROL WELD PRODUCED BY ULTRASONIC WELDING OF THERMOPLASTIC MATERIALS

V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov
Biysk Technological Institute (branch) of the AltSTU

Abstract – The article presents the results of stand development for weld quality control, formed by ultrasonic welding. Proposed, developed and practiced stand allowed carry out the control the process of forming the weld by ultrasonic welding. inspection results are allowed visually examine the process and set the welding conditions to ensure maximum weld quality.

Index terms: ultrasound, welding, process, thermoplastic material, weld seam, quality.

REFERENCES

1. Slivin, A.N., “Design of the ultrasonic apparatuses with optimization of energy action in order to increase welding efficiency,” Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Ru., Altay State Technical University, Biysk, 2008.
2. Khmelev, V.N., A. N. Slivin, and A. D. Abramov, “Perfecting of the Technology and Development of the Apparatuses for Ultrasonic Welding,” 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM, 2013, pp. 182–186, July 2013.
3. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Effiiciency increase of energy action at the ultrasonic welding,” Science-technical vestnik of Povolzhya, vol 3, pp. 278–281, 2013.
4. Khmelev, V. N., et al, “Methods of quality improvement of PLL operation of ultrasonic technological apparatuses,” Measurements, automation and modeling in industrial and scientific studies: interacademic reports, pp. 178-184, 2002.
5. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, A. D. Abramov, “Model of process and calculation of energy for a heat generation of a welded joint at ultrasonic welding polymeric thermoplastic materials,” 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07 - Proceedings 2007 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07. Russian Foundation of Basic Researches (RFBR), 2007, pp. 316–322, July 2007.
6. Khmelev V.N., et al., Ultrasonic welding of thermoplastic materials, monograph. Biysk: Altay State Technical University publishing, 2014.
7. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Improvement of ultrasonic welding and design of the apparatuses for is realization,” Izvestya of Tomsk Polytechnic University, vol 4, pp. 152–157, 2013
8. Khmelev, V. N., et al, ”Theoretical investigations of continuous ultrasonic seam welding of thermoplastic polymers and fabrics,” 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010, 2010, pp. 341-344, July 2010.
9. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, A. D. Abramov,”Research of ultrasonic welding of polymer ring-shaped materials,” 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010, 2010, pp. 345-349, July 2010.
10. Khmelev, V. N., “Method of sealing of plastic storage containers and conversion of components of blood,” RU Patent 2269334, February 10, 2006.

Khmelev Vladimir Nikolaevich – professor, deputy director for science, Biysk Technological Institute, (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Slivin Alexey Nikolaevich – docent, Biysk Technological Institute, (3854)432570, e-mail: san@bti.secna.ru.

Abramov Alexey Dmitrievich – engineer, Biysk Technological Institute, (3854)432581, e-mail: abramov@bti.secna.ru.