

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ШВА, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, М.Е. Вакар

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, контроль, сварной шов, качество.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

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 сварки [1–3].

При ультразвуковой 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 ультразвуковой 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

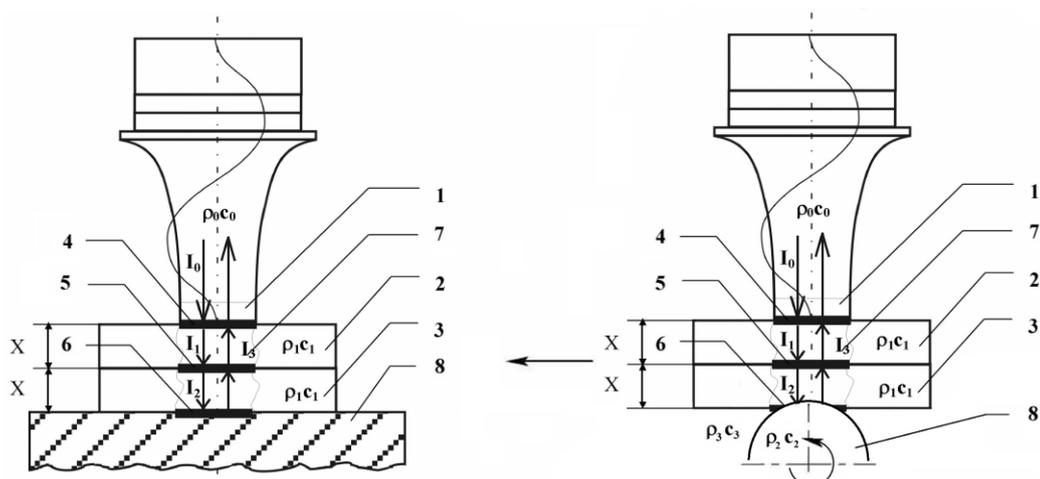
сварки возникает необходимость формирования бездефектных швов с прочностью, близкой к прочности исходного материала.

Для выявления условий формирования качественных бездефектных соединений рассмотрим процесс сварки. Процесс ультразвуковой сварки включает прижим сварочного инструмента к поверхностям свариваемых материалов, обеспечение акустического контакта между материалами и сварочным инструментом, ультразвуковое воздействие в течение определенного времени, и стабилизацию сварного шва. На рисунке 1 представлены схемы ультразвуковой сварки. Процесс формирования сварного соединения можно схематично представить в следующем виде [4]. Свариваемые материалы 2, 3, имеющие определенную 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.

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 определенного времени.

Для формирования качественного сварного шва необходимо исследование быстропротекающего процесса формирования сварного шва при УЗ воздействии и медленно протекающего процесса его стабилизации при охлаждении материалов.

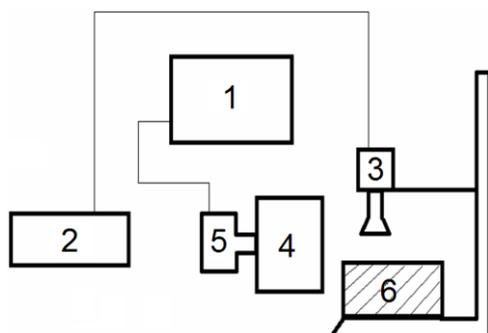


а) Схема прессовой сварки
 б) Схема непрерывной сварки
 1 – сварочный инструмент; 2, 3 – свариваемые материалы; 4–6 – границы раздела сред материалов, инструмента и опоры; 7 – зона сварки; 8 – опора (ролик);
 I_{0-3} интенсивности УЗ колебаний

Рисунок 1 – Схемы ультразвуковой сварки

РАЗРАБОТКА СТЕНДА

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



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

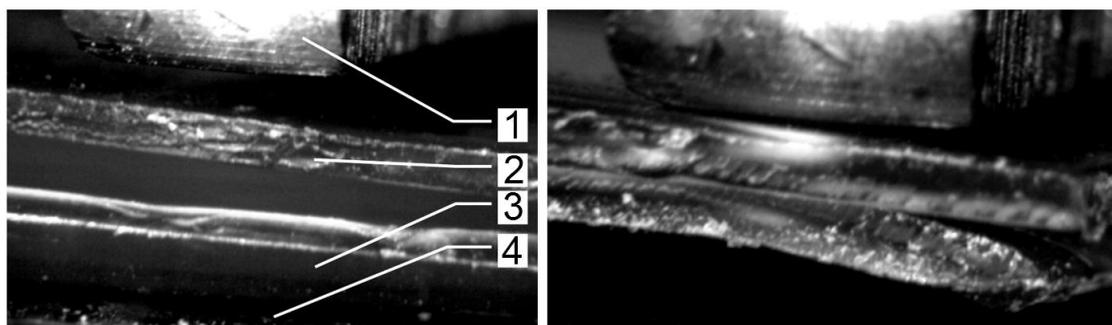
Рисунок 2 – Схема и стенд для исследования качества формируемого сварного шва в процессе УЗ сварки термопластичных материалов

В состав стенда входит персональный компьютер 1 и цифровая окулярная видеоска-

мера 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.

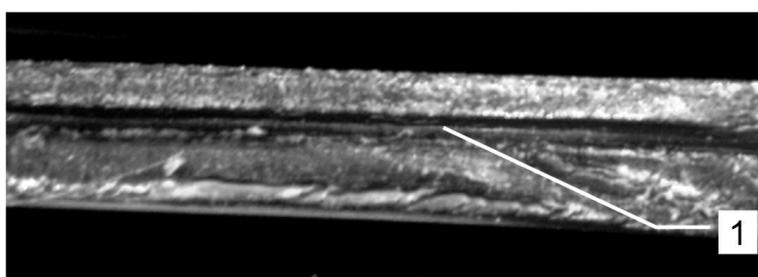
Камера используется совместно с микроскопом 4 «Альтами», который имеет рабочее расстояние 118 мм, диапазон плавного увеличения изображения от 7 до 45 крат и обеспечивает наблюдение объемного изображения предметов в отраженном или проходящем свете. В состав стенда входит аппарат «Гименей-ультра» 2, который 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 ультразвукового аппарата со штативом позволяет ввести в свариваемые материалы ультразвуковые колебания амплитудой от 20 до 50 мкм и частотой 22+1,65 кГц.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ШВА, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ



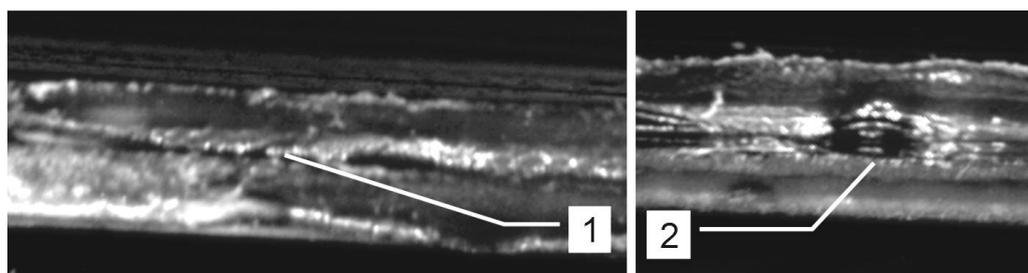
1 – сварочный инструмент; 2, 3 – свариваемые материалы; 4 – опора

Рисунок 3 – Стадия обеспечения акустического контакта между сварочным инструментом и материалами



1 – Равномерный сварной шов

Рисунок 4 – Сварной шов свариваемых материалов (качественный, равномерный)



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

Рисунок 5 – Сварной шов с наличием дефекта (некачественный, неравномерный)

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 внахлест на опору, так что бы была видна зона сварки между

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2016

пластинами (рисунок 3), после чего осуществлялся прижим сварочным инструментом 25x2,5 мм к поверхностям свариваемых материалов и обеспечение акустического контакта.

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 видеосъемки формировался видеофайл, с набором кадров, позволяющим контролировать протекание всего процесса.

Продолжительность процесса ультразвуковой сварки составила 1,5 с. Через 0,2 с по-

сле 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. осуществляется движение текучего расплавленного материала даже при отсутствии ультразвукового воздействия. Проведённые исследования показали, что максимальное качество сварного шва (не имеющего дефектов, трещин, воздушных включений, и следов деструкции материала (рисунок 5)) достигается при обеспечении равномерного по всей длине сварного шва, представленного на рисунке 4. Сварной шов в зоне контакта двух соединяемых пластин однороден по всей длине шва.

ВЫВОДЫ

Предложенный, разработанный и практически реализованный стенд позволил осуществлять контроль процесса формирования сварного шва при ультразвуковой сварке. Результаты контроля позволили визуальное исследование процесса 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сливин, А. Н. Создание ультразвуковых аппаратов с оптимизацией энергетического воздействия для повышения эффективности сварки : дис. ... канд. техн. наук / Сливин А. Н. – Бийск, 2008. – 180 с.

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

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. Хмелев, В. Н. Способ повышения качества работы ФАПЧ ультразвуковых технологических аппаратов / В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганок, Р. В. Барсуков, А. Н. Сливин, А. В. Шалунов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник. – Бийск : АлтГТУ, 2002.

5. Khmelev, V. N. Model of process and calculation of energy for a heat generation of a welded joint at ultrasonic welding polymeric thermoplastic materials / V. N. Khmelev, A. N. Slivin, A. D. Abramov // 2007 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), July 2007. – P 316–322.

6. Хмелёв, В. Н. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов : монография / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, А. Д. Абрамов, С. С. Хмелёв; под ред. В. Н. Хмелева. – Бийск : Изд-во Алтайского государственного технического университета, 2014. – 281 с.

Хмелев В.Н., д.т.н., профессор, директор по научной работе, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Сливин А.Н., к.т.н., инженер электронщик, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: san@bti.secna.ru.

Абрамов А.Д., инженер, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», e-mail: abramov@bti.secna.ru, тел.: 8(3854) 43-25-70.

Вакар М.Е., магистрант, БТИ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: 001_18@mail.ru.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2016