

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АППАРАТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОТЯЖЕННЫХ СВАРНЫХ ШВОВ РАЗЛИЧНОЙ ШИРИНЫ

А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, А.В. Леер, В.А. Нестеров

Бийский технологический институт, г. Бийск

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса формирования непрерывного сварного шва в зоне контакта плоской поверхности излучателя с вращающейся поверхностью прижимного ролика. На основании анализа процесса распространения, отражения и поглощения ультразвуковых колебаний в соединяемых материалах в зоне контакта выработаны рекомендации по выбору параметров прижимного ролика, оптимальной амплитуды ультразвуковых колебаний и скорости протяжки для различных по свойствам и толщине материалов.

Ключевые слова: полимерный материал, ультразвуковая сварка, непрерывный сварной шов, скорость протяжки материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывная шовная ультразвуковая сварка является самым перспективным способом получения качественного надежного протяженного сварного шва термопластических полимерных материалов и тканей.

Она находит широкое применение для формирования непрерывных сварных швов при упаковке в полимерные термопластичные пленки как твердых, так и жидких пищевых продуктов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 и 2 показан образец непрерывного шовного соединения и процесс непрерывной ультразвуковой сварки при соединении упаковочных и фильтрующих материалов.

Наиболее перспективным способом получения непрерывного шовного соединения является ультразвуковая сварка с использованием ролика-опоры. Основными достоинствами такого способа соединения являются: возможность повышения скорости, качества и автоматизация процесса.



Рис. 1. Непрерывное шовное соединение полипропиленового мешка



Рис. 2. Процесс непрерывной ультразвуковой сварки

Для обеспечения качественного непрерывного шовного соединения необходимо осуществлять контроль и стабильность параметров ультразвукового аппарата: амплитуды, частоты и скорости протяжки свариваемых материалов.

В связи с вышеперечисленным была сформулирована цель исследований: выявить

оптимальные режимы и условия сварки на основании контроля параметров ультразвукового аппарата при формировании непрерывных сварных швов различной ширины.

Для достижения намеченной цели поставлены следующие задачи:

1. Провести теоретический анализ процесса ультразвуковой сварки с применением вращающейся опоры;

2. Выявить пределы регулирования скорости протяжки в зависимости от амплитуды ультразвукового воздействия, площади и конфигурации поверхности прижимных роликов для различных по свойствам и толщине материалов;

3. Провести экспериментальные исследования влияния амплитуды колебаний ультразвукового воздействия, скорости протяжки, ширины и конфигурации ролика-опоры на процесс ультразвуковой сварки.

Для решения первой из поставленных задач, впервые проведены подобного рода теоретические исследования, результатами которых стал расчет энергии ультразвуковых колебаний выделяющейся в зоне сварки при формировании непрерывного сварного соединения, скорости протяжки свариваемых материалов в зависимости от свойств и толщины свариваемых материалов и скорости протяжки (выражения (1) и (2)).

$$W = I_1(1 - e^{-2ax} S - e^{-4ax} S + \eta_2 e^{-4ax} s - \eta_2 e^{-8ax} s + \eta_3 e^{-4ax} (S - s) - \eta_3 e^{-8ax} (S - s)), \quad (1)$$

$$V_{пр} = \frac{W \cdot l}{\frac{T_{нк}}{\rho_1 V_1 \int C dT + \lambda \rho_1 V_2 + Q_3}}, \quad (2)$$

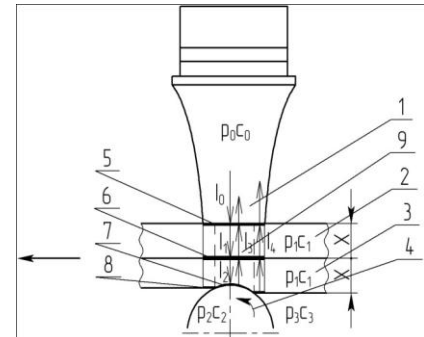
где W – энергия диссипации; I_1 – вводимая интенсивность УЗ колебаний; α – коэффициент затухания по амплитуде; S – площадь ввода ультразвуковых колебаний; η_1, η_2, η_3 – коэффициенты отражения от границ раздела сред; $V_{пр}$ – скорость протяжки свариваемых материалов; l – длина пятна контакта с роликом; ρ_1 – плотность свариваемых материалов; V_1, V_2 – нагреваемый до температуры плавления и расплавляемый объемы; C – удельная теплоемкость свариваемого материала; λ – удельная теплота плавления; Q_3 – потери тепла из зоны сварки.

На рис. 3 представлена схема процесса непрерывной шовной ультразвуковой сварки термопластов. При исследованиях учтена энергия, отраженная от ролика-опоры, зависящая от площади контакта с роликом s , вычисляемой при помощи выражения (3):

$$s = lb, \quad (3)$$

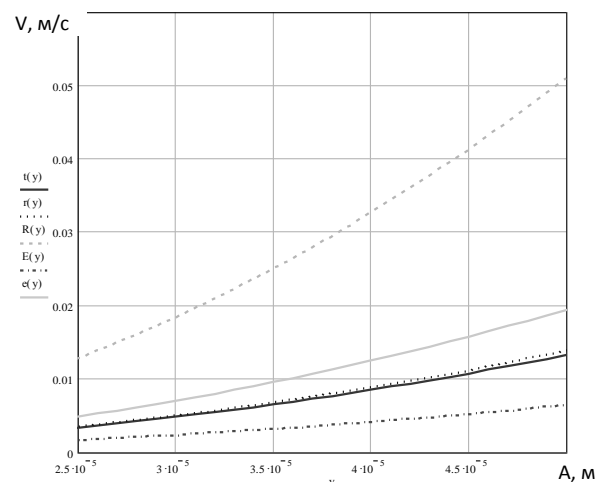
где l и b – длина пятна контакта с роликом и ширина шва соответственно.

При решении второй поставленной задачи получены зависимости скорости протяжки различных свариваемых материалов (рис. 4 и 5) от амплитуды и площади контакта с роликом-опорой.



1 – сварочный инструмент, 2,3 – свариваемые материалы, 4 – ролик, 5,6,7,8 – границы раздела сред, 9 – зона сварки

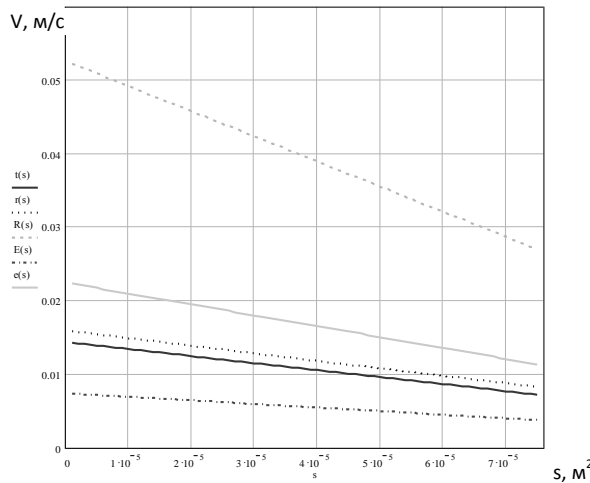
Рис. 3. Схема процесса непрерывной шовной ультразвуковой сварки термопластов



$t(y)$ – полиэтилентерефталат, $r(y)$ – поливинилхлорид, $R(y)$ – полипропилен, $E(y)$ – полистирол, $e(y)$ – полиэтилен

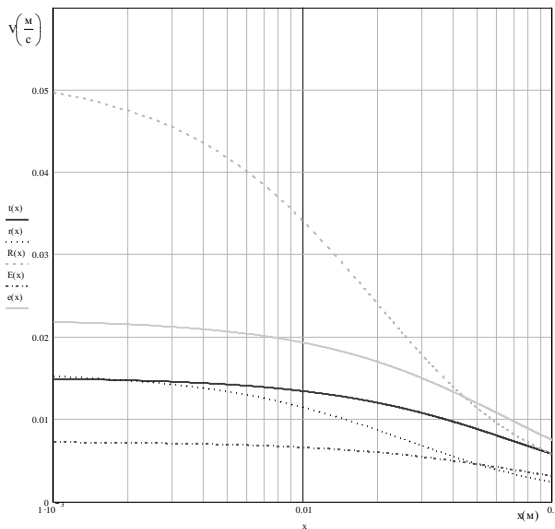
Рис. 4. Зависимости скоростей протяжки различных свариваемых материалов от амплитуды колебаний рабочего сварочного инструмента

Также получены зависимости скорости протяжки от частоты вводимых ультразвуковых колебаний и толщины различных свариваемых материалов (рис. 6 и 7).



t(s) – полиэтилентерефталат, r(s) – поливинилхлорид,
 R(s) – полипропилен, E(s) – полистирол, e(s) – полиэтилен

Рис. 5. Зависимости скоростей протяжки различных свариваемых материалов от площади контакта с роликом



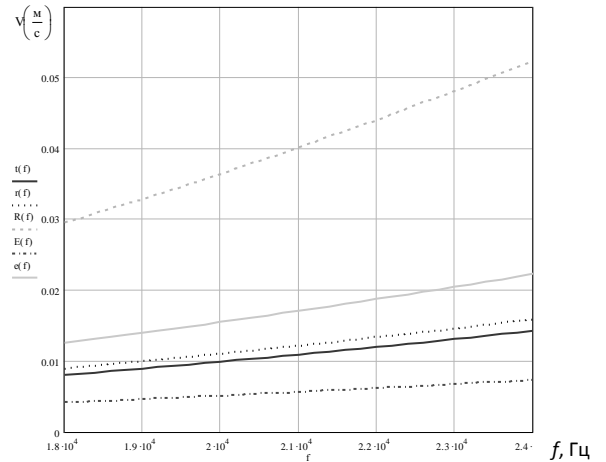
t(x) – полиэтилентерефталат, r(x) – поливинилхлорид,
 R(x) – полипропилен, E(x) – полистирол, e(x) – полиэтилен

Рис. 6. Зависимости скоростей протяжки от толщины различных свариваемых материалов

Из графиков зависимости скорости протяжки от частоты рис. 7 следует, что скорость протяжки существенно возрастает с увеличением частоты.

Для решения третьей поставленной задачи разработан и практически реализован стенд для формирования непрерывных сварных соединений.

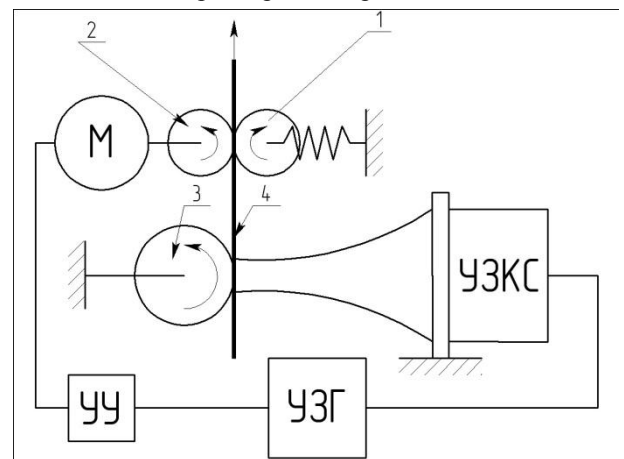
Для стабилизации параметров, основанной на их контроле, применена схема под управлением микроконтроллера, показанная на рис. 10.



t(f) – полиэтилентерефталат, r(f) – поливинилхлорид, R(f) – полипропилен, E(f) – полистирол, e(f) – полиэтилен

Рис. 7. Зависимость скорости протяжки от частоты вводимых ультразвуковых колебаний для различных материалов

На рис. 8, 9 представлена схема и фото экспериментальной установки для контроля и стабилизации параметров аппарата.



1 – прижимной ролик, 2 – ролик протяжки, 3 – ролик-опора, 4 – свариваемые материалы, М – шаговый двигатель, УЗКС – ультразвуковая колебательная система, УУ – устройство управления, УЗГ – ультразвуковой генератор

Рис. 8. Схема стенда непрерывной шовной ультразвуковой сварки

При проведении экспериментальных исследований получены зависимости скорости протяжки от амплитуды (рис. 11). Для подтверждения результатов теоретических исследований оптимальная скорость протяжки устанавливалась вручную. При этом критерием выбора скорости являлась прочность сварного соединения. Механические испытания на растяжение и установление прочности шва сварного соединения производились на разрывной машине Р-10, в соответствии с требованиями ГОСТ.

На графиках рис. 12 видно, что с увеличением ширины ролика, при постоянных других, влияющих на площадь контакта ролика-опоры со свариваемыми материалами, параметрах увеличивается время, необходимое для сварки, следовательно, нужно уменьшать скорость сварки. Для повышения производительности процесса и скорости протяжки можно уменьшить площадь контакта применив аналогичные ролики, но с насечкой на рабочей поверхности.

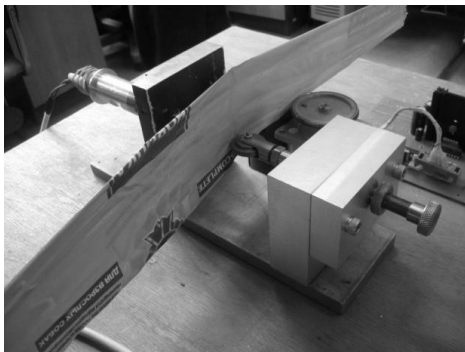
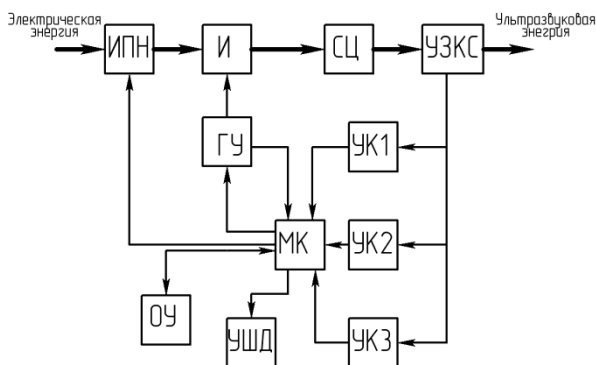


Рис. 9. Стенд непрерывной шовной ультразвуковой сварки



ИПН – источник постоянного напряжения; И – инвертор;
 СЦ – согласующая цепь; УЗКС – ультразвуковая колебательная система; ГУ – генератор управляемый; УК1-УК3 – устройства контроля тока, напряжения и фазы; МК – микроконтроллер;
 ОУ – устройство общего управления, УШД – управление шаговым двигателем

Рис. 10. Структурная схема ультразвукового генератора с системой контроля и стабилизации параметров ультразвукового аппарата

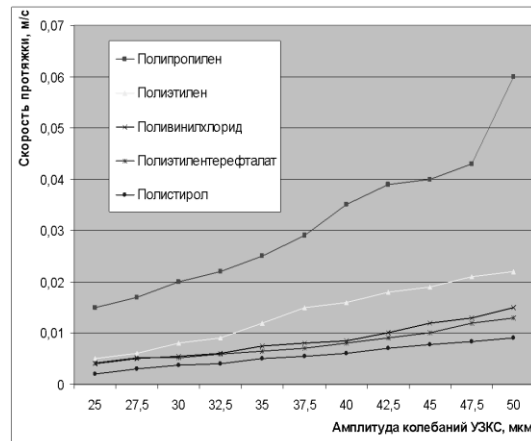


Рис. 11. Экспериментальные зависимости скорости протяжки от амплитуды колебаний УЗКС

На рис. 13 отображены экспериментальные данные зависимости скорости протяжки от площади контакта с роликом-опорой с насечками очевидно, что скорости протяжки гораздо выше чем при применении роликов без насечек.

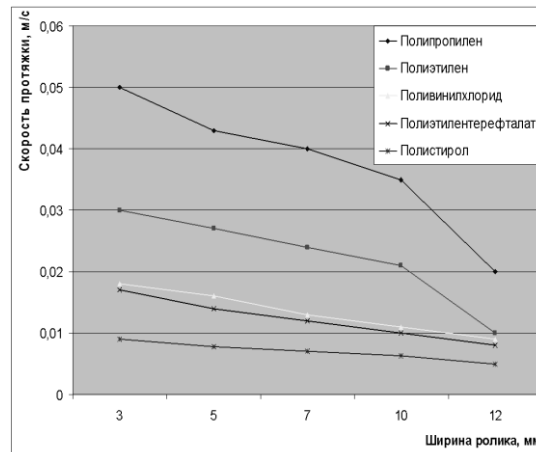


Рис. 12. Экспериментальные зависимости скорости протяжки от площади контакта с роликом-опорой без насечек

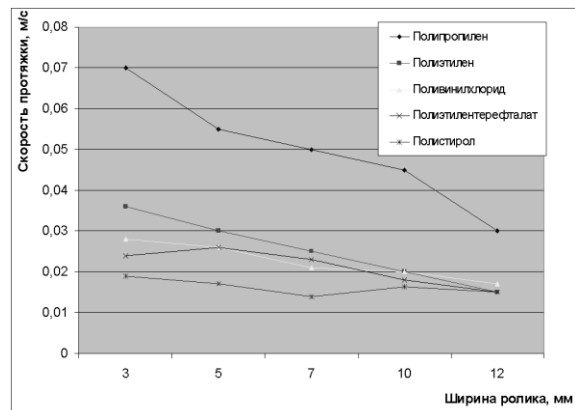


Рис. 13. Экспериментальные зависимости скорости протяжки от площади контакта с роликом-опорой с насечками

Для подтверждения теоретических зависимостей в табл. 1 представлены значения скоростей протяжки, полученные из теоретических и практических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы достигнута цель: выявлены оптимальные режимы и условия сварки на основании контроля параметров ультразвукового аппарата при формировании непрерывных сварных швов различной ширины.

Решены следующие задачи.

1. Проведен теоретический анализ процесса ультразвуковой сварки с применением вращающейся опоры, получены теоретические зависимости параметров ультразвукового сварочного аппарата от влияющих факторов. Установлены зависимости между шириной шва (площадью контакта ролика-опоры) амплитудой, частотой, скоростью протяжки и свойствами свариваемых материалов при оптимальном воздействии, то есть получении сварного шва требуемого качества.

Табл. 1. Сравнение теоретических и экспериментальных данных

Материал	Площадь контакта ролика $\cdot 10^{-6} (М^2)$	$V_{np теор}$ (М/с)	$V_{np эксп}$ (М/с)
Полипропилен	15	0,047	0,05
	30	0,042	0,043
	45	0,037	0,04
	60	0,032	0,035
	75	0,028	0,02
Полиэтилен	15	0,02	0,03
	30	0,018	0,027
	45	0,016	0,024
	60	0,014	0,021
	75	0,012	0,01
Поливинилхлорид	15	0,016	0,018
	30	0,013	0,016
	45	0,011	0,013
	60	0,01	0,011
	75	0,08	0,009
Полиэтилентерефталат	15	0,016	0,017
	30	0,011	0,014
	45	0,01	0,012
	60	0,009	0,01
	75	0,0077	0,008

2. Выявлены теоретические закономерности, позволяющие определить технологические режимы сварочного аппарата, электронного генератора и ультразвуковых пьезоэлектрических колебательных систем для обеспечения оптимального ультразвукового воздействия в зависимости от амплитуды ультразвукового воздействия, площади и конфигурации поверхности прижимных роликов для различных по свойствам и толщине материалов. Для полипропилена скорости протяжки в зависимости от амплитуды и частоты ультразвуковой колебательной системы, площади контакта свариваемых материалов и их толщины составили

от 0,005 до 0,056 м/с, а для полистирола от 0,002 до 0,009 м/с.

3. Проведены экспериментальные исследования влияния амплитуды колебаний ультразвукового воздействия, скорости протяжки, ширины и конфигурации ролика-опоры на процесс ультразвуковой сварки, которые подтвердили теоретические закономерности. Так с увеличением ширины шва с 0,003 до 0,012 м скорость протяжки для полипропилена необходимо снизить с 0,05 до 0,02 м/с, а при использовании ролика-опоры с насечками – с 0,07 до 0,03 м/с, при уменьшении амплитуды с 75 до 25 мкм скорость протяжки необходимо уменьшать с 0,050 до 0,012 м/с, что соответствует теоретическим данным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мозговой, И.В. Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров И.В. Мозговой//Учеб. Пособие, Изд-во красноярского ун-та, 1991, 280 с.
2. Хмелёв, В.Н. Развитие ультразвуковых технологий, разработка исследование многофункциональных и специализированных ультразвуковых аппаратов [Текст] / В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин// Ползуновский альманах. – 2000. – №3. – С. 193–200.
3. Сливин, А.Н. Повышение эффективности ультразвуковых технологических аппаратов [Текст] / В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, И.И. Савин // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2-2. – С. 177–185.
4. Способ герметизации пластиковых пакетов при упаковке сыпучих и жидких продуктов [Текст]: Пат. 2276014 Российская Федерация, МПК³ В29С 65/08 В65В 51/22 В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, М.В. Хмелёв, А.Н. Лебедев, С.В. Левин; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – № 2004135854/12; заявл. 07.12.04; опубл. 10.05.06, 9 с.: ил.
5. Сливин, А.Н. Разработка ультразвукового оборудования для упаковочных машин [Текст] / В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, И.И. Савин, А.В. Шалунов // Известия Тульского государственного университета. – Тула, 2006. – Вып. 6. – С. 12–18.
6. Slivin, A.N. Measurement of Parameters and Automatic Selection of Optimal Modes During Ultrasonic Welding of Thermoplastic Materials [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, A.N. Slivin, S.N. Tchyganok, I.I.Savin, A.D. Abramov, A.V. Shalunov, S.V. Levin // International Workshops and Tutorials on EDM'2006: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2006. – P. 289–293., (ISBN57782–0646–1, IEEE Catalog Number 06EX1337).
7. Slivin, A.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 // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2007. – P.316-322.
8. Slivin, A.N. Research of Parameter Influence of Ultrasonic Welding Process on Conjunction Formation of Polymeric Thermoplastic Materials [Текст] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2008: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2008. – P. 272–

278., (ISBN 5–7782–0893–3, IEEE Catalog Number CFP08500–PRT).

Сливин Алексей Николаевич, к.т.н., доцент, Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: san@bti.secna.ru.

Абрамов Алексей Дмитриевич, аспирант, Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: abramov@bti.secna.ru.

Леер Андрей Владимирович, выпускник, Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570.

Нестеров Виктор Александрович, выпускник, Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570.