

РАЗРАБОТКА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ПРИВАРИВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ВЫРУБКОЙ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА

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

В статье представлены результаты разработки полуавтоматической линии по привариванию полимерной пленки к жесткому полимерному колпачку с одновременной вырубкой с помощью ультразвуковой сварки. По результатам экспериментальных исследований выбраны полимерные материалы для производства изделия, предложен и реализован способ автоматизации процесса его изготовления. Изготовлена автоматизированная линия ультразвуковой сварки.

Ключевые слова: автоматизированная линия, колебательная система, сварной шов, полимерный материал, ультразвуковая сварка.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время полимерные материалы применяются во всех отраслях промышленности и медицины. Переход на полимеры позволяет уменьшить стоимость изделий и упростить их изготовление [1]. Кроме того изделия из полимеров имеют более широкие эксплуатационные характеристики и могут использоваться для работы в контакте с агрессивными средами, при низких температурах, при знакопеременных нагрузках и др.

Практически в любой области применения полимерных материалов проблема обеспечения требуемой прочности изделий изготовленных из них является основной. Особый интерес представляют изделия, при производстве которых необходимо обеспечить герметичное и прочное соединение по кольцевому шву [2].

В последнее время интенсивно развивается новая технология забора крови из пальца при помощи лазерного перфоратора. Благодаря лазерному перфоратору, медики впервые смогут отказаться от металлических ланцетов, с помощью которых прокалывают кожу для забора крови. Прокол пальца с помощью лазера по сравнению с металлическими ланцетами существенно снижает болевые ощущения, быстрее заживает. Кроме того, практически исключается риск инфицирования раны во время лазерного прокола.

Расходным элементом лазерного перфоратора является одноразовый колпачок для забора крови на анализ (рис. 1).

Конструктивно колпачок состоит из жесткого полимерного корпуса и тонкой полимерной пленки приваренной к торцу корпуса. Приваривание полимерной пленки к корпусу представляет собой сложную задачу. Необходимо не только герметично приварить

пленку, но и одновременно произвести ее вырубку по периметру.

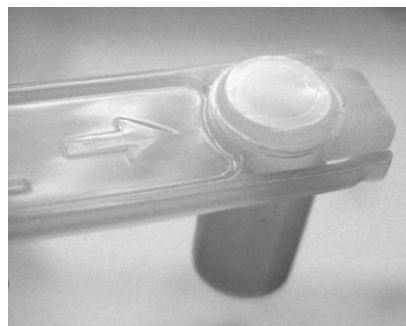


Рис. 1. Внешний вид одноразового колпачка

Так как производство колпачков требуется выполнять с большой производительностью, то самым перспективным способом является применение ультразвуковой сварки [4, 6, 8].

Поэтому, главной целью является исследование возможности использования интенсифицирующего воздействия ультразвуковых колебаний для соединения разнородных по свойствам материалов – эластичная полимерная пленка и жесткие полимерные корпуса при создании колпачков.

Для выявления возможности и целесообразности применения ультразвуковой сварки при изготовлении колпачков необходимо провести экспериментальные исследования, конечной целью которых станет выявление оптимальных условий ультразвуковой сварки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) разработать и изготовить ультразвуковую колебательную систему и сменный рабочий инструмент, предназначенный для одновременной вырубки и при-

варивания полимерной пленки к колпачку из полимерного термопластичного материала;

2) собрать и настроить лабораторный стенд для проведения экспериментальных исследований по ультразвуковой сварке колпачков;

3) провести экспериментальные исследования для выявления оптимальных условий и режимов ультразвуковой сварки составных частей колпачка;

4) исследовать влияние формы рабочих инструментов и материала составных частей колпачка на качество и прочность сварного соединения;

5) разработать предложения по практической реализации проекта ультразвуковой автоматизированной линии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Вследствие того, что требуется обеспечить высокую производительность при соединении разнотолщинных полимерных материалов, необходимо в качестве оборудования для проведения экспериментальных работ использовать ультразвуковые колебательные системы с рабочей частотой более 20 кГц [1, 5].

Поэтому была поставлена цель спроектировать и изготовить УЗКС с рабочей частотой 44 ± 2 кГц и амплитудой колебаний сварочного инструмента не менее 25 микрон.

На рис. 2 представлены результаты моделирования ультразвуковой колебательной системы.

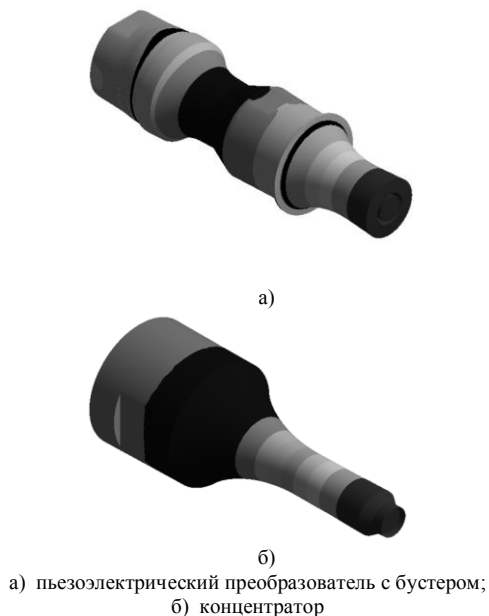


Рис. 2. Результаты моделирования ультразвуковой колебательной системы

Для достижения требуемых параметров сварки потребовалось изготовить несколько вариантов конструкций ультразвуковых колебательных систем, построенных по многополуволновой схеме [1].

Первый вариант (УЗКС №1) состоял из отдельных элементов (пьезоэлектрический преобразователь, бу-

стер, концентратор), классически соединенных с помощью шпилек (рис. 3).



Рис. 3. Первый вариант ультразвуковой колебательной системы (УЗКС №1)

Основные технические характеристики УЗКС №1 представлены в табл. 1.

Табл. 1. Основные технические характеристики УЗКС №1

Параметр	Значение
Мощность, ВА не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	43,8
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	12

В процессе настройки и испытаний определено, что УЗКС №1 не обеспечивает стабильность своих параметров (амплитуда, частота). Кроме того, амплитуда колебаний рабочего инструмента не превышает 14 микрон и наблюдается чрезмерный нагрев пьезоэлектрического преобразователя.

Эти недостатки заключались в недостаточном согласовании составляющих и значительных потерях энергии на многочисленных переходах [4]. Поэтому было принято решение объединить пьезоэлектрический преобразователь и бустер в единое звено (исключено соединение шпилькой) и изменить условия согласования (форму и длину бустера).

На рис. 4 представлен второй вариант УЗКС, состоящий из пьезоэлектрического преобразователя (преобразователь совмещен с бустером) и концентратора. Присоединение концентратора выполнено шпилькой.

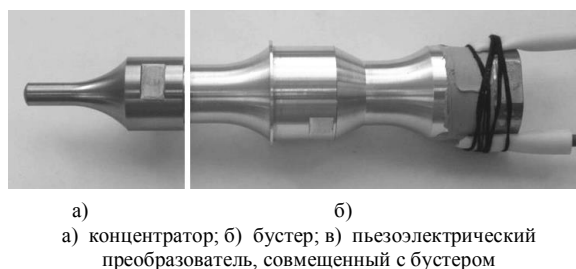


Рис. 4. Второй вариант ультразвуковой колебательной системы (УЗКС №2)

Основные технические характеристики УЗКС №2 представлены в табл. 2.

Табл. 2. Основные технические характеристики УЗКС №2

Параметр	Значение
Мощность, ВА не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	43,6
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	40

В процессе настройки и испытаний установлено, что УЗКС №2 обеспечивает стабильность своих параметров (амплитуда, частота). Амплитуда колебаний рабочего инструмента превышает 25 микрон, что необходимо и достаточно для ультразвуковой сварки.

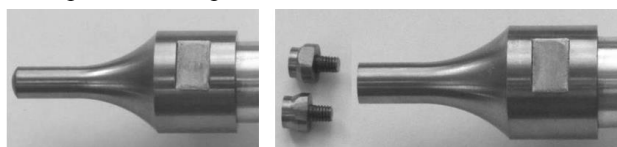
Анализ конструктивных особенностей изделия и необходимость решения задачи одновременной сварки и обрезки в ходе проведения экспериментов, направленных на достижение максимальной прочности приваривания пленки к колпачку потребовал создания 2 типов концентраторов:

- цельноточеный концентратор с плоским сварочным окончанием;
- концентратор с двумя сменными сварочными инструментами.

С обоими типами концентраторов УЗКС №2 обеспечивает стабильность своих параметров и амплитуду колебаний (до 32 микрона).

Таким образом, было обеспечено 3 видов сварочного окончания для приваривания пленки к колпачку (рис. 5):

- плоский сварочный инструмент диаметром 8 мм для предварительных исследований возможностей ультразвуковой сварки;
- сварочный инструмент с режущей кромкой диаметром 7,1 мм для отработки технологии сварки с одновременной обрезкой;
- сварочный инструмент с режущей кромкой диаметром 7,4 мм для отработки технологии сварки с одновременной обрезкой.



а) цельноточеный концентратор с плоским сварочным инструментом; б) концентратор со сменным сварочным инструментом

Рис. 5. Внешний вид концентраторов

На рис. 6 представлен внешний вид изготовленных ультразвуковых колебательных систем для приваривания эластичной полимерной пленки к жесткому полимерному колпачку.



Рис. 6. Внешний вид ультразвуковых колебательных систем

Ультразвуковые колебательные системы построены по многополуволновой схеме. Концентратор и сварочные инструменты изготовлены из титанового

сплава ВТ-1-0. Пьезоэлектрический преобразователь и бустер изготовлены из алюминиевого сплава В95.

Предварительные исследования подтвердили достаточность созданных колебательных систем инструментов для решения поставленной задачи.

Для проведения исследований по отработке технологии (выбору оптимальных режимов и условий сварки и обрезки) был изготовлен лабораторный стенд (прототип рабочего оборудования), включающий станину с установленными на ней пневматическим оборудованием, ультразвуковую колебательную систему и сварочную опору для фиксации колпачка (рис. 7).

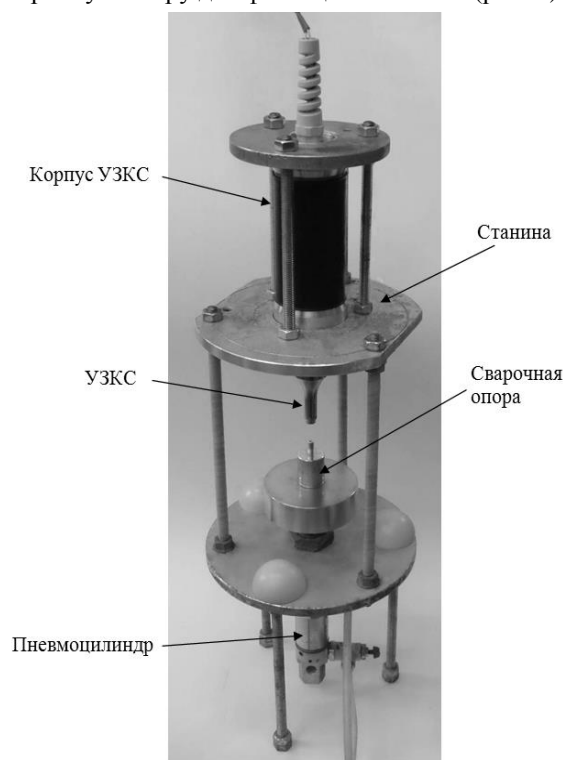


Рис. 7. Внешний вид лабораторного стенда

Пневматическое оборудование имеет возможность регулировки усилия прижима и скорости перемещения сварочной опоры, что позволяет обеспечить требуемые параметры сварки.

Кроме того, в состав лабораторного стенда вошел ультразвуковой генератор мощностью 400 Вт с микропроцессорным управлением параметрами сварки и системой фазовой автоподстройки частоты.

На первом этапе экспериментальных работ осуществлялся выбор материалов для сварки.

- колпачки из материалов PP и HDPE;
- полиэтиленовая пленка 15 микрон и полиэтиленовая пленка 60 микрон.

В результате многократных экспериментов установлено, что полиэтиленовая пленка 15 микрон не приваривается к колпачкам из PP и HDPE (наблюдается ее прорезание).

Полиэтиленовая пленка 60 микрон приваривается к колпачкам из РР и HDPE. Наилучшая прочность приваривания и скорость сварки (0,2 сек) достигается с колпачками из материала РР. Скорость сварки пленки с колпачками из HDPE составляет 0,35 сек.

На втором этапе экспериментальных работ осуществлялся выбор сварочного инструмента обеспечивающего максимальную прочность приваривания пленки к колпачку и одновременное обрезание пленки по контуру.

В экспериментах использовались 3 сварочных инструмента (СИ):

- плоский СИ диаметром 8 мм (СИ1);
- СИ с режущей кромкой диаметром 7,1 мм (СИ2);
- СИ с режущей кромкой диаметром 7,4 мм (СИ3).

Схемы сварки для каждого типа СИ представлены на рис. 8-10.

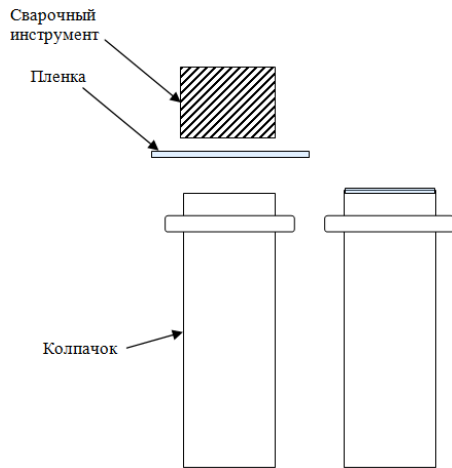


Рис. 8. Схема сварки для плоского сварочного инструмента (СИ1)

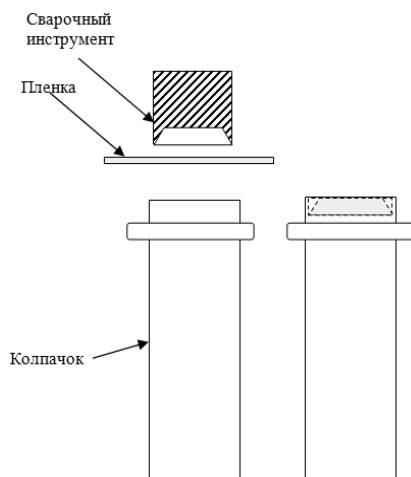


Рис. 9. Схема сварки для сварочного инструмента с режущей кромкой диаметром 7,1 мм (СИ2)

В результате проведенных исследований установлено, что наилучшее качество приваривания и прочность соединения обеспечивается сварочным инструментом СИ3.

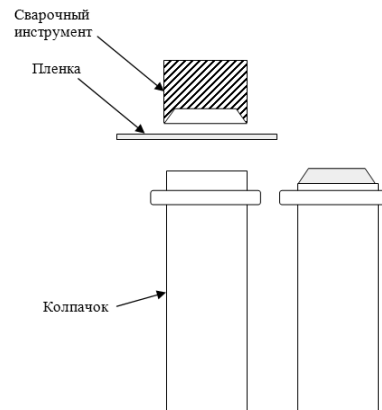


Рис. 10. Схема сварки для сварочного инструмента с режущей кромкой диаметром 7,4 мм (СИ3)

На рис. 11 представлен результат приваривания пленки к колпачкам.

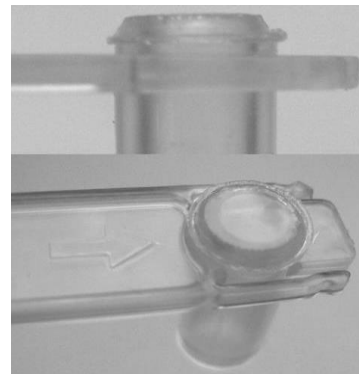


Рис. 11. Результат приваривания пленки к колпачку

Из рис. 11 видно, что верхняя часть колпачка, к которой осуществлялось приваривание пленки за счет ультразвуковых колебаний, приняло форму сварочного инструмента СИ3. Это обеспечило не только герметичность сварного шва, но и достаточную прочность и равномерность приваривания пленки. Полный цикл сварки образца (время сжатия + время сварки + время остывания) не превышает 0,5 секунды.

Сварочные инструменты СИ1 и СИ2 не обеспечивают качественного сварного соединения с одновременной обрезкой пленки по контуру.

При использовании сварочного инструмента СИ1 не обеспечивается обрезка пленки по контуру. Сварной шов имеет низкую прочность на отрыв.

Сварочный инструмент СИ2 портит внутреннюю поверхность цилиндра корпуса за счет вытеснения расплавленного материала колпачка и сильно деформирует пленку.

Выполненные исследования продемонстрировали эффективность и целесообразность использования ультразвуковой сварки для производства изделий.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что наилучшими материалами для изготовления образца являются полиэтиленовая пленка толщиной 60 микрон и колпачки из материала РР.

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность созданного оборудования и возможность использования его в качестве основы для создания промышленного оборудования.

Исходя из анализа характерных особенностей и нюансов сварки материалов, выявленных в процессе проведения экспериментов, могут быть даны следующие рекомендации для построения узла формирования сварного шва и автоматизации процесса с применением ультразвукового аппарата:

1. Эластичная пленка должна автоматически перематываться с одной бабины на другую.

2. При необходимости эксплуатации оборудования в стерильных условиях рекомендуется выполнять корпус УЗКС герметичным с принудительным воздушным охлаждением от пневмосети.

3. Необходимо предусмотреть систему контроля присутствия колпачка в зоне сварки и эластичной пленки. При отсутствии колпачка и/или эластичной пленки в зоне сварки следует остановить линию для исключения выпуска бракованной продукции и сообщить оператору об ошибке.

На основании приведенных выше рекомендаций создана полуавтоматическая линия, состоящая из ультразвукового генератора, узлов подачи колпачков в зону сварки и протягивания пленки и блока автоматики.



Рис. 12. Внешний вид полуавтоматической линии производства колпачков

Основные технические характеристики полуавтоматической линии производства колпачков представлены в табл. 3.

Табл. 3. Основные технические характеристики полуавтоматической линии

Параметр	Значение
Мощность, ВА не более	400
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	44±3,3
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	40
Полный цикл сварки, с, не более	1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы предложена, изготовлена и исследована специализированная полуавтоматическая линия для приваривания полимерной пленки к корпусу из полимерного термопластичного материала и ее последующей вырубке.

В основу линии положена специальная высококачественная пьезоэлектрическая колебательная система со сменным рабочим инструментом, обеспечивающим одновременную сварку и обрезку пленки.

Разработанная полуавтоматическая линия при максимальной потребляемой электрической мощности в 400 Вт и амплитуде ультразвукового воздействия в процессе сварки в пределах 30 – 40 мкм обеспечивает формирование качественного соединения за 0,3 – 1 с. Проведенные исследования и испытания созданной полуавтоматической линии позволили подтвердить эффективность ее применения в промышленных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК7 А61J1/05, В65B51/22. 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.
3. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки элементов картриджа для очистки воды / В.Н. Хмелев [и др.] // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП – 2003): Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – 2003. – С. 202–211.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Khmelev, V. N., et al, "Development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams," XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, pp. 148–156, July 2012.
8. Khmelev, V. N., et al, "Theoretical Investigations of Continuous Ultrasonic Seam Welding of Thermoplastic Polymers and Fabrics," International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM 2010, pp. 341–344, July 2010.

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.

Генне Дмитрий Владимирович – инженер кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432581, e-mail: gdv@bti.secna.ru.

Нестеров Виктор Александрович – 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: nva@bti.secna.ru.

DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATED LINES FOR WELDING POLYMER FILM WITH SIMULTANEOUS CUTTING DOWN OF USING ULTRASOUND

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

Abstract – Results of development of the semi-automatic line of connection of a polymeric film to a rigid polymeric cap with simultaneous cutting down by means of ultrasonic welding are presented in article. By results of the pilot studies polymeric materials for production of a product are chosen, the way of automation of process of its manufacture is offered and realized. The automated line of ultrasonic welding is made.

Index terms: automatic line, oscillatory system, joint weld, polymeric material, ultrasonic welding.

REFERENCES

1. Khmelev V.N., et al., Ultrasonic welding of thermoplastic materials, monograph. Biysk: Altay State Technical University publishing, 2014.
2. Khmelev, V. N., “Method of sealing of plastic storage containers and conversion of components of blood,” RU Patent 2269334, February 10, 2006.
3. Khmelev V.N., et al., “Development of technology and equipment for ultrasonic welding of the elements of the cartridge for water purification,” Measurements, automation and modeling in industrial and scientific studies: interacademic reports, pp. 202-211, 2003.
4. 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.
5. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Improvement of ultrasonic welding and design of the apparatuses for its realization,” Izvestiya of Tomsk Polytechnic University, vol 4, pp. 152–157, 2013.
6. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Efficiency increase of energy action at the ultrasonic welding,” Science-technical vestnik of Povolzhya, vol 3, pp. 278–281, 2013.
7. Khmelev, V. N., et al., “Development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams,” XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, pp. 148–156, July 2012.
8. Khmelev, V. N., et al., “Theoretical Investigations of Continuous Ultrasonic Seam Welding of Thermoplastic Polymers and Fabrics,” International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM 2010, pp. 341–344, July 2010.

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.

Genne Dmitriy Vladimirovich – engineer, Biysk Technological Institute, (3854)432581, e-mail: gdv@bti.secna.ru.

Nesterov Viktor Aleksandrovich – docent, Biysk Technological Institute, (3854)432570, e-mail: nva@bti.secna.ru.