

## **АППАРАТЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.**

В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок,  
А. Д. Абрамов

*Лаборатория акустических процессов и аппаратов  
Бийского технологического института*

*Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия*

Ультразвуковая сварка получает все большее применение при решении проблем соединения отдельных узлов и элементов в производстве изделий из полимерных термопластичных материалов. Это стало возможным благодаря совершенствованию технологии сварки, оптимизации режимов ультразвукового воздействия и повышению точности дозирования ультразвуковой энергии, вводимой в зону сварки. Условия ввода энергии и режимы сварки, как правило, оптимизируются в ходе экспериментальной отработки технологии для каждого изделия отдельно и затем используются при его серийном производстве. При этом, несущественные для нормального функционирования изделия, отклонения геометрических размеров отдельных узлов и изменения свойств материалов нарушают оптимальность процесса сварки, приводят к снижению качества соединений и браку конечной продукции.

Непрерывное ужесточение требований к качеству формируемых соединений, расширение ассортимента свариваемых материалов, увеличение размеров и усложнение конструкций изделий обуславливают необходимость поиска путей автоматического установления оптимального ультразвукового (УЗ) воздействия при формировании каждого сварного соединения. Для выбора и поддержания оптимального воздействия в процессе формирования соединений требуется учитывать влияние всех мешающих факторов, осуществлять непрерывный контроль состояния соединяемых материалов и условий протекания процесса, обеспечивая при этом работу всех узлов и элементов УЗ аппарата с максимальной эффективностью.

Анализ современного состояния аппаратов для УЗ сварки [1,2,3] свидетельствует об отсутствии в их составе систем контроля и автоматического управления, и о частичном использовании возможностей систем автоматической подстройки частоты и стабилизации амплитуды. В процессе формирования шва не учитываются закономерности и особенности изменения физических и акустических свойств соединяемых материалов. Основная причина в отсутствии систем непрерывного контроля свойств материалов в зоне соединения. Отсутствие информации и состоянии соединяемых материалов не позволяет создать системы автоматического регулирования параметров генератора для оптимизации УЗ воздействия.

В связи с этим, для повышения эффективности процесса сварки необходимо ввести в состав УЗ аппаратов измерительные и управляющие системы, способные обеспечить получение информации в процессе формирования шва, автоматическое установление и поддержание оптимального УЗ воздействия на основе полученных данных, управление электронным генератором, способным обеспечивать перестройку по частоте и мощности в необходимых пределах.

Реализация непрерывного контроля состояния соединяемых материалов за счет внесения в формируемый шов дополнительных датчиков невозможна. Поэтому было предложено использовать высокую чувствительность пьезоэлектрической колебательной системы к изменению характеристик обрабатываемых сред. До настоящего времени наличие такой зависимости считалось мешающим фактором, и ее старались минимизировать стабилизацией параметров ультразвукового генератора, либо игнорировать, путем заведомого снижения скорости процесса.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований была установлена связь между изменением физических параметров соединяемых материалов и изменением электрических параметров пьезоэлектрической колебательной системы и показано, что переход соединяемых материалов в вязкотекучее, вязкопластичное состояние и начало его деструкции приводят к однозначному изменению входного импеданса колебательной системы, которое может быть отслежено электронным генератором. Измерительная система УЗ аппарата должна включать в себя инструментальные средства для контроля входного импеданса, добротности, резонансной частоты, амплитуды колебательной системы. Для ее практической реализации были разработаны специализированные устройства, подробно описанные в [4],

интеграция которых в существующие УЗ аппараты позволила обеспечить автоматическое установление оптимальной интенсивности УЗ воздействия при формировании соединений.

Основная проблема, решаемая при создании сварочных аппаратов с оптимизацией УЗ воздействия, связана с необходимостью разработки и применения специализированных колебательных систем, способных выполнять одновременно роль источника УЗ воздействия и устройства непрерывного контроля параметров соединяемых материалов. С этой целью были созданы специальные пьезоэлектрические колебательные системы, объединяющие в полуволновой конструктивной схеме пьезопреобразователь, концентратор и рабочий инструмент. Собственная резонансная частота, добротность и входное электрическое сопротивление таких систем зависят определенным образом от изменения акустической нагрузки, обусловленной как изменением свойств соединяемых материалов, так и величиной статического давления на излучающую поверхность.

Конструктивно ультразвуковая колебательная система выполнена в виде тела вращения, состоящего из двух металлических накладок и двух пьезоэлектрических элементов. Образующая тела вращения имеет вид непрерывной кусочно-гладкой кривой, состоящих из трех основных участков: двух цилиндрических (длиной  $l_1$  и  $l_2$ ) и одного переменного сечения (длиной  $l_z$ ). Пьезоэлектрические элементы расположены между участком переменного сечения и торцом отражающей накладки. Созданная колебательная система схематично показана на рис. 1, а, внешний вид приведен на рис. 1, б. На рисунке показано распределение амплитуд  $A$  и механических напряжений  $F$  вдоль образующей. Пучностям смещений приблизительно соответствуют узлы механических напряжений, и наоборот, т.е. распределение смещений и напряжений имеет вид стоячих волн.

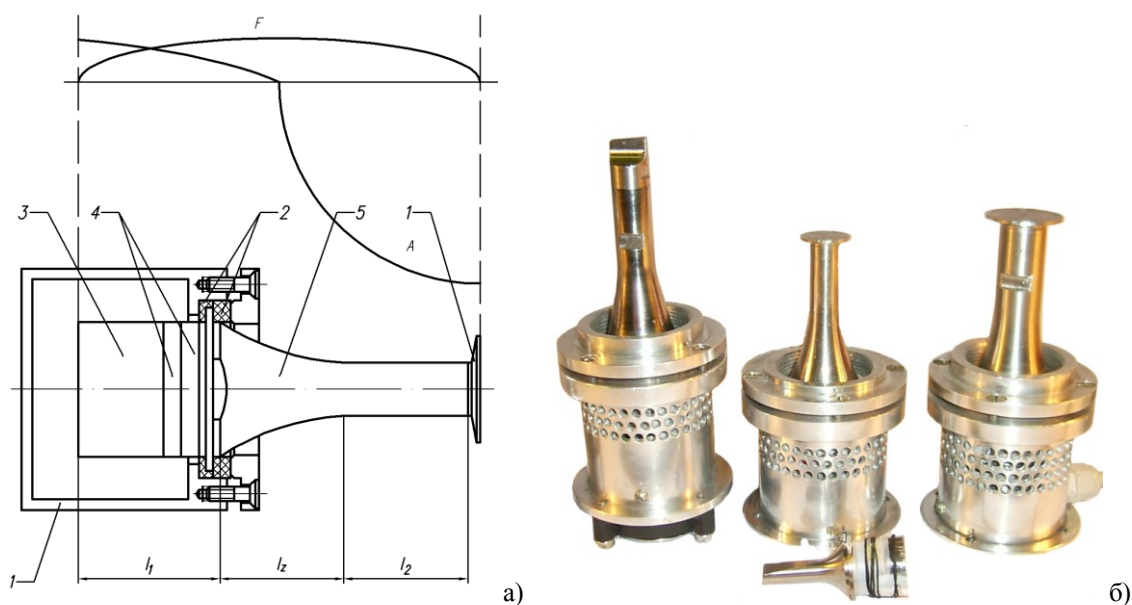


Рисунок 1 – Пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система: а – конструктивная схема, б – внешний вид.

На основе предложенной полуволновой конструктивной схемы разработаны:

- колебательные системы для сварки термопластичных материалов (полимерная трубка систем хранения компонентов крови) для применения в ручных и стационарных запаивателях (рис. 2).

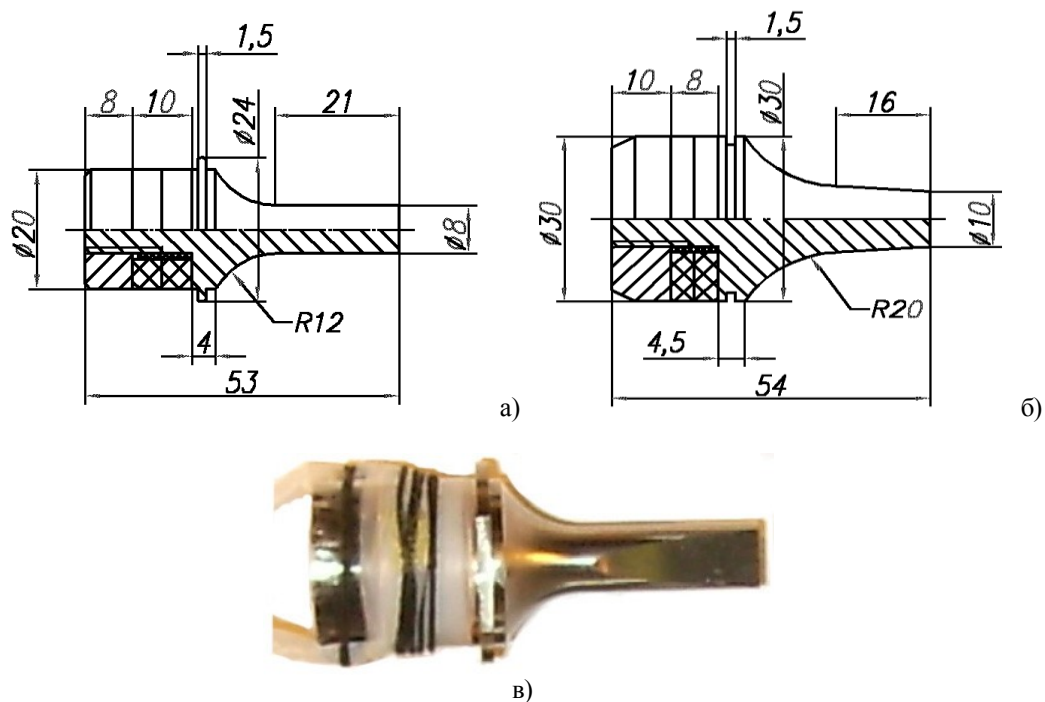


Рисунок 2 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗКС для сварки термопластичных материалов: а – ручной вариант, б – стационарный вариант, в – внешний вид.

Коэффициент усиления  $M_p$  таких систем равен 8 – 10. Собственная резонансная частота –  $44 \pm 3,33$  кГц. Амплитуда колебаний на излучающей поверхности 15 – 25 мкм.

- колебательные системы для сварки термопластичных материалов путем выполнения замкнутого кольцевого шва, представленные на рис. 3.

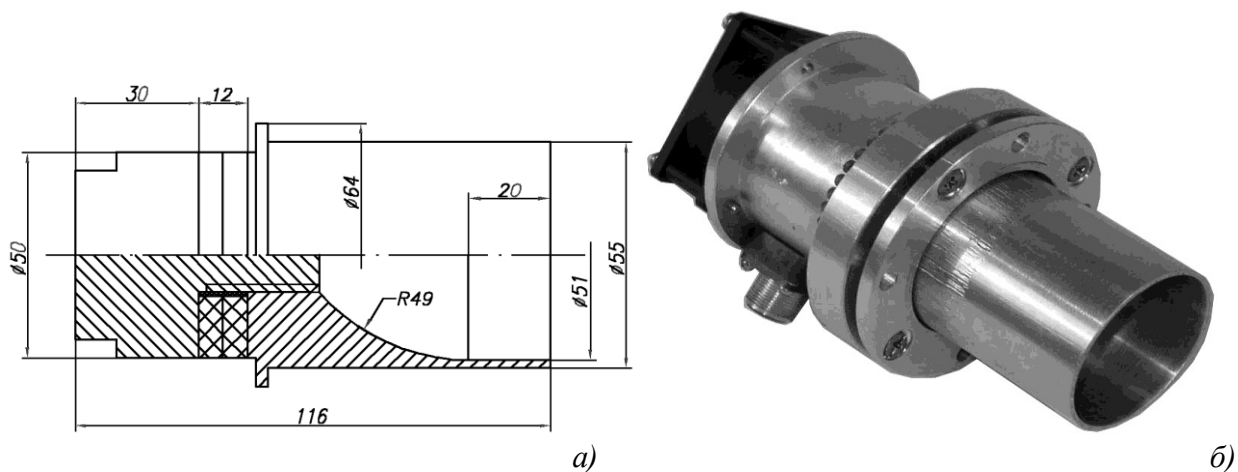
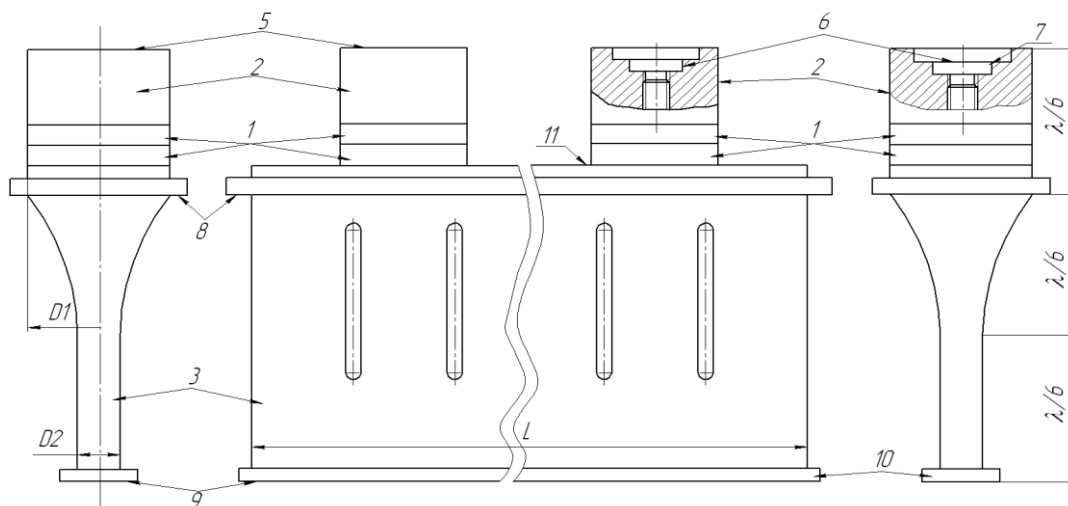


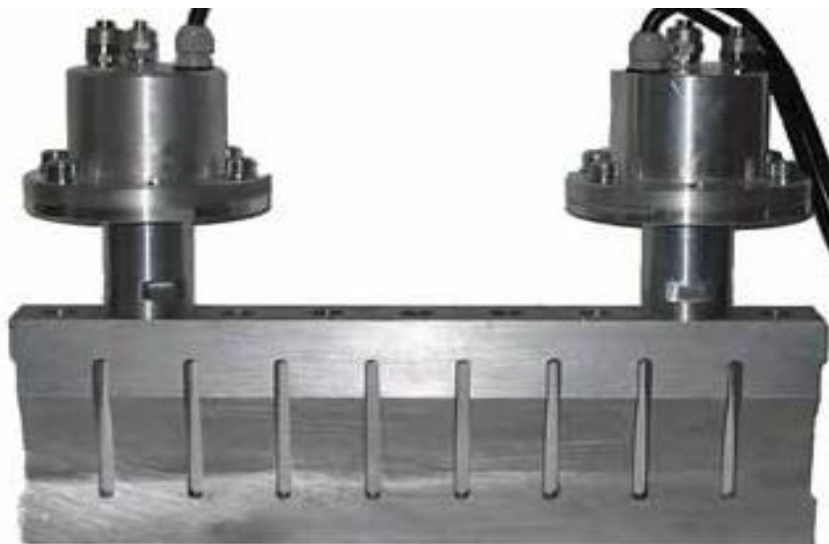
Рисунок 3 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗ колебательная система для кольцевой сварки термопластичных материалов – картриджей: а – конструкция, б – внешний вид.

Коэффициент усиления  $M_p$  равен 15. Собственная резонансная частота системы  $44 \pm 3,33$  кГц. Амплитуда колебаний на излучающей поверхности 25 – 30 мкм;

- колебательная система для сварки термопластичных материалов путем выполнения протяженного шва заданной ширины при прессово-шовной сварке, представленные на рис. 4.



а)



б).

Рисунок 4 – Полуволновая пьезоэлектрическая УЗ колебательная система для выполнения протяженного шва, а – конструкция, б – внешний вид.

Создание новых колебательных систем и УЗ аппаратов с оптимизацией УЗ воздействия обеспечило развитие технологий ультразвуковой сварки пластичных полимерных материалов в следующих основных направлениях: герметизация полимерных трубок, формирование непрерывных швов, формирование швов большой ширины (свыше 300 мм) и формирование кольцевых швов.

Развитие технологии запаивания полимерных трубок было обусловлено необходимостью надежной герметизации пластиковых трансфузионных систем. Использувавшиеся ранее диэлектрические запаиватели (типа Nematron 2, Biosealer CR2 и подобные) осуществляли нагрев и формирование термического шва на участке трубки токами высокой частоты. Малая ширина шва (2 мм), высокая энергоемкость процесса (более 200 Вт), разложение материала под действием температуры, приводящее к загрязнению крови токсичными веществами (хлором), снижение

прочности шва при наличии на поверхности вязких и жировых пленок, не позволяли считать проблему герметизации трансфузионных систем решенной. Эти недостатки были устранены при помощи практической реализации способов управления процессом УЗ сварки [5,6], что позволило, впервые в мировой практике, создать серию стационарных и переносных ультразвуковых запаивателей [7,8] (рис. 5 и 6).



Рисунок 5 – Ультразвуковой запаиватель пластиковых контейнеров с компонентами крови



Рисунок 6 – Ультразвуковая система для стерильного запаивания и сегментации трансфузионных систем

Конструктивно ультразвуковые запаиватели состоят из электронного генератора и механического блока. В состав механического блока входят колебательная система и узел сжатия трубки. В зависимости от типа запаивателя механический блок может быть встроенным в корпус или выносным. Привод узла сжатия трубки выполняется электромагнитным, для выносного запаивателя – ручным.

Созданные запаиватели обеспечили герметизацию и сегментацию всех типов используемых в практике гемоконтейнеров. При этом, выполнение шва шириной в 8 мм и

сегментация по шву, позволили герметизировать одновременно гемоконтейнер и удаляемый сегмент трубки. Это исключило возможность попадания крови или ее компонентов на оборудование и обеспечило безопасность работы медицинского персонала.

Рост популярности упаковки продуктов в герметичные одноразовые пакеты из полимерных пленок обусловил существенный прогресс в области создания упаковочных машин. Герметизация упаковочного пакета – наиболее ответственная операция, определяющая качество и сохранность упакованных продуктов. Реализуемая в настоящее время герметизация термической сваркой имеет ряд недостатков: деструкция полимера под воздействием высоких температур, значительное время прогрева пленок толщиной более 100 мкм, невозможность герметизации пакетов с термонеустойчивыми, легковоспламеняющимися и взрывчатыми веществами. Кроме того, в процессе загрузки сыпучих и жидких продуктов в упаковочный материал из дозирующего устройства часто происходит загрязнение соединяемых поверхностей. Это отрицательно влияет на качество и герметичность сварного соединения упаковки.

Наиболее эффективным способом решения указанных проблем является применение высокоскоростной прессовой шовно-шаговой ультразвуковой сварки термопластических полимерных материалов. Для этого были разработаны специализированные аппараты [9], представленные на рис. 7,8,9,10.



*Рисунок 7 – Ультразвуковой аппарат “Гиминей-лента” для сварки красящих лент*

На рис.7. представлен ультразвуковой аппарат “Гиминей-лента” (модель КУС 1/22-О) для полуавтоматической ультразвуковой сварки и одновременной резки красящих принтерных лент, обеспечивающий соединение полимерной ленты в кольцо.



*Рисунок 8 – Аппарат «Гиминей-ультра-3»*

Для осуществления прессовой шовно-шаговой сварки были разработаны ультразвуковые аппараты, обеспечивающие формирование герметизирующего шва шириной 5 мм и протяженностью 150 мм «Гиминей-ультра-3» модель КУС 1/22-О (рис. 8).



*Рисунок 9 – Аппарат «Гиминей-гео»*

Для формирования шва протяженностью 220 мм создан специализированный аппарат «Гиминей-ГЕО» модель АУС 3/22-О (рис. 9). Для выполнения шва протяженностью 360 мм разработан аппарат «Рельсона» модель УЗТА 3/18-О (рис.10).



*Рисунок 10 – Ультразвуковой аппарат “Рельсона” УЗТА 3/18-О для шовно-шаговой сварки.*

Созданное ультразвуковое оборудование нашло широкое применение при ультразвуковой сварке полимерных термопластичных упаковочных материалов, и при изготовлении георешеток, предназначенных для укрепления дорожных поверхностей.

Эффективным применением ультразвукового метода сварки является соединение изделий из термопластичных материалов кольцевым швом. Такой вариант сварки получил широкое распространение при производстве емкостей различного технологического назначения (упаковочные стаканы, технологические объемы и т.п.). Наиболее ярким примером эффективного применения УЗ сварки является решение проблемы герметизации сменных фильтрующих картриджей для очистки воды, производство которых в настоящее время активно разворачивается в России и странах СНГ [10].

В технологиях зарубежных производителей (например, германской фирмы «Бритта») для этих целей используется способ сварки трением, при котором быстровращающаяся крышка вводится в соприкосновение с неподвижным стаканом. Реализация сварки трением требует сложного дорогостоящего оборудования, усложняет конструкцию картриджа и предъявляет повышенные требования к точности изготовления пластиковых деталей, что удорожает готовый картридж.

Взамен этого метода сварки разработана автоматизированная линия, представленная на рис. 11, включающая специализированное ультразвуковое оборудование[11].



*Рисунок 11 – Автоматизированная линия с аппаратом ультразвуковой сварки*

Для удовлетворения потребностей различных современных производств была создана серия многофункциональных ультразвуковых сварочных аппаратов для обеспечения ультразвуковой непрерывной и прессовой шовно-шаговой сварки листовых материалов (рис. 12,13,14 и 15).



*Рисунок 12 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гимней-ультра»*



Рисунок 13 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гиминей-ультра 2»



Рисунок 14 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки ручного исполнения «Гиминей-ультра 2»

Назначение – соединение конструкционных изделий и листовых материалов методом низкотемпературной ультразвуковой сварки. Сменные инструменты позволяют при сварке получать швы различной ширины и формы непрерывным, или прессовым шовно-шаговым способом сварки полимерных термопластичных материалов.



Рисунок 15 – Комплект оборудования для ультразвуковой сварки термопластичных материалов «Гиминей-ультра 4»

Решение проблемы оптимизации воздействия при формировании каждого шва за счет введения в состав УЗ сварочных аппаратов систем непрерывного контроля и управления позволило достичь высокой эффективности созданных специализированных и многофункциональных ультразвуковых сварочных аппаратов. Это позволяет рекомендовать их для промышленного применения при решении различных задач современных производств.

Список источников:

1. Дяченко С. Ультразвуковая сварка деталей из термопластов, Акустический соединитель 2003г. июль-август 32-36 стр.
2. Шестопад А.Н., Васильев Ю.С. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс. Киев, «Техника», 1986, 202 с.
3. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов. М, ДЕЛИ, 2000, 170 с.
4. Пат. 2247544 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 61 В 18/00. Способ управления процессом ультразвуковой липосакции / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2003117268/14; заявл. 09.06.03; опубл. 10.03.05, Бюл. №7. – 8с.: ил.
5. Пат. 2192375 Российская Федерация, МПК 7 А 61 J 1/05. Способ управления процессом ультразвуковой герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови / 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». - №2000104737/13; заявл. 28.02.00; опубл. 27.03.02, Бюл. № 4 – 9с.: ил.
6. Пат. 2171669 Российская Федерация, МПК 7 А 61 J 1/05. Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н.; заявитель и патентообладатель Бийский технологический институт АлтГТУ. - №99114203/14; заявл. 29.06.99; опубл. 10.08.01, Бюл. №22. – 7с.: ил.
7. Пат. 2267316 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 61 J 1/05. Устройство ультразвуковой герметизации и сегментации трансфузионных систем / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Хмелев М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2004116746/14; заявл. 01.06.04; опубл. 10.01.06, Бюл. № 1 – 7 с.: ил.
8. Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 61 J 1/05, В 65 В 51/22. Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови / 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». - №2004115358/14; заявл. 20.05.04; опубл. 10.02.06, Бюл. № 4 – 9с.: ил.
9. Пат. 2276014 Российская Федерация, МПК В29С 65/08, В 65 В 51/22. Способ герметизации пластиковых пакетов при упаковке сыпучих и жидких продуктов/ Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н., Хмелёв М.В., Левин С.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2004135854/12; заявл. 07.12.04; опубл. 05.10.06, Бюл. № 6 – 11с.: ил.
10. Пат. 2241599 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 29 С 65/08. Способ герметизации картриджей для очистки воды / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В., Савин И.И., Хмелёв М.В., Левин С.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». - №2003136136/12; заявл. 11.12.03; опубл. 10.12.04, Бюл. №34. – 8с.: ил.
11. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Barsukov R.V., Levin S.V., Khmelev M.V. "Ultrasonic Welding Of Cartridges For Water Treating", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2004: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2004. - p. 207-210.